

# ПРИРОДА

8 03



**В НОМЕРЕ:****3 ВСПОМИНАЯ МАРСИАНСКИЕ КАНАЛЫ****Сурдин В.Г.****Величайшее противостояние Марса (3)**  
Отрывки из книг прошлых лет о Марсе (7)**15 Котляков В.М., Рототаева О.В.****Ледниковая катастрофа на Северном Кавказе**

Не затихают споры о причинах и возможности прогноза катастрофической подвижки пульсирующего ледника Колка в Северной Осетии. Постоянные наблюдения за ледником могут позволить в будущем избежать трагических неожиданностей.

**Вести из экспедиций****24 Бебия С.М.****По степям и лесам Горного Алтая****Демкин В.А., Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Скрипкин А.С.****Необычное древнее сооружение в излучине Дона (35)****43 Уфимцев Г.Ф., Щетников А.А.****Тункинский рифт**

Тункинский рифт, расположенный недалеко от Байкала, служит уникальным научным полигоном для изучения процессов молодой геодинамики, общих и индивидуальных особенностей внутриконтинентального рифтогенеза.

**Калейдоскоп****50**

Ассигнования на канадскую науку (50). Остров Флат больше не существует (50). Ихтиозавр вернулся домой (50). Архаические надписи на «костях дракона» (51). Восстановление афганских памятников (51). Наркотикам три тысячи лет (51).

**52 Гриднев С.А.****Сюрпризы несоразмерной фазы в сегнетоэлектриках**

В некоторых сегнетоэлектриках при фазовых переходах образуется сверхструктура и спонтанная поляризация пространственно модулируется. Необычные свойства таких кристаллов тесно связаны с динамикой доменов и их границ в присутствии дефектов.

**59 Киселев Л.Л.****Как остановить синтез белков?**

За последние 10 лет благодаря исследовательской активности отечественных биологов стали понятны ключевые этапы такого важного и малоизученного процесса, как остановка синтеза белка в клетке.

**66 Хайманн Р.Б., Евсюков С.Е.****Аллотропия углерода**

Систематизировать весьма разнообразные формы чистого углерода — непростая задача. Ее облегчает введение гибридизации валентных орбиталей в качестве отличительного признака. Тогда все формы находят свое место на диаграмме, построенной в виде треугольника.

**73 Сорокина М.Ю.****Наука и Третий рейх: борьба за ресурсы****Новости науки****81**

Новые шаги гамма-астрономии (81). Двойное «сердце» галактики (81). Вторая затменная планетная система (82). Гигантская планета в опасности. Сурдин В.Г. (82). Откуда вода на Марсе? (83). Сверхпроводящий MgB<sub>2</sub>-провод получен в Курчатовском институте (84). Снегоходы — бедствие для животных? (84). Сверхдлинные колонки осадков Охотского моря. Левитан М.А. (84). Судьба арктических льдов (85). Почему «поют» пески пустынь? (85). Вулканы, связанные между собой (86). Вулкан Паго пробудился (86). Новое глобальное начинание (87). Песчаная буря в Австралии (87). Самые древние приматы (87). Ископаемый джехолорнис (88). Древнее захоронение всадников и лошадей (88). Объявления (96)

**Рецензии****89 Корякин В.С.****Судьба исследователя****Новые книги****91****Встречи с забытым****93 Любина Г.И.****Жозеф Деникер**

## CONTENTS:

### 3 RECALLING THE MARTIAN CANALS

**Surdin V.G.**

**The Greatest Opposition of Mars (3)**  
Excerpts from Books on Mars (7)

### 15 Kotlyakov V.M. and Rototaeva O.V.

**The Glacial Disaster  
in the Northern Caucasus**

*There is ongoing debate on the causes of the disastrous displacement of the pulsating Kolka glacier in Northern Ossetia and the possibility of its prediction. By monitoring the glacier, it will be possible to avoid unexpected tragedies in the future.*

### News from Expeditions

### 24 Bebiya S.M.

**Through the Steppes and Forests  
of the Altai Mountains**

**Demkin V.A., Alekseeva T.V.,  
Alekseev A.O., and Skripkin A.S.**

**An Unusual Ancient Structure  
on the Don River Bend (35)**

### 43 Ufimtsev G.F. and Shchetnikov A.A.

**The Tunkinski Rift**

*The Tunkinski rift, located near Lake Baikal, provides a unique research site for exploring the processes of recent geodynamics, the general and specific features of intracontinental rifting.*

### Kaleidoscope

### 50

Expenditures on Canadian Science (50). Flat Island no Longer Exists (50). An Ichthyosaur Is Back Home (50). Archaic Writings on Dragon Bones (51). Reconstruction of Afghan Monuments (51). Narcotics Date back to 3000 Years Ago (51).

### 52 Gridnev S.A.

**Surprises of the Incommensurate  
Phase in Ferroelectrics**

*In some ferroelectrics, phase transitions produce a superstructure with the spontaneous polarization being spatially modulated. The unusual properties of such crystals are closely related to the dynamics of domains and their boundaries in the presence of defects.*

### 59 Kiselev L.L.

**How to Stop Protein Synthesis?**

*Over the past 10 years, the research activity of Russian biologists has illuminated the key stages of the important yet poorly understood process whereby protein synthesis terminates in cells.*

### 66 Khaimann R.B. and Evsyukov S.E.

**Carbon Allotropy**

*Systematizing the varied forms of pure carbon is difficult. This task, however, can be facilitated by introducing hybridization of valent orbitals as a distinguishing feature. Then, all forms find their place on a triangular plot.*

### 73 Sorokina M.Yu.

**Science and the Third Reich:  
A Struggle for Resources**

### Science News

### 81

New Steps in Gamma Astronomy (81). The Double Heart of the Galaxy (81). The Second Eclipsed Planetary System (82). A Giant Planet in Jeopardy. **Surdin V.G.** (82). Where Does Water on Mars Come from? (83). A Superconducting MgB<sub>2</sub> Wire Obtained at the Kurchatov Institute (84). Snowmobiles: An Ordeal for Animals? (84). Superlong Sediment Columns in the Sea of Okhotsk. **Levitan M.A.** (84). The Fate of Arctic Ice (85). What Causes Desert Sands to Sing? (85). Interconnected Volcanoes (86). Pago Volcano Has Awoken (86). A New Global Undertaking (87). A Sand Storm in Australia (87). The Oldest Primates (87). Fossil Jeholornis (88). An Ancient Burial of Horsemen and Horses (88).  
Advertisement (96)

### Book Reviews

### 89 Koryakin V.S.

**The Fate of the Researcher**

### New Books

### 91

### Encounters with the Forgotten

### 93 Lyubina G.I.

**Josef Deniker**

# ВСПОМИНАЯ МАРСИАНСКИЕ КАНАЛЫ

Этот месяц – настоящий праздник для астрономов: при противостоянии Земля и Марс так близко подойдут друг к другу, как это еще не случалось в обозримом прошлом. Раньше, при наблюдениях только с земной поверхности, именно во время великих противостояний делались все открытия, относящиеся к Красной планете. Самое интригующее среди них – марсианские каналы, история которых весьма увлекательна. Перипетии великого столетия в изучении Марса (середина XIX – середина XX в.) можно проследить по фрагментам из классических книг о нем. Они наглядно демонстрируют не только сами представления тех времен и характер аргументации при научных спорах, но и стиль изложения, не уступающий подчас по языку художественным творениям.

## Величайшее противостояние Марса

В.Г.Сурдин,

*кандидат физико-математических наук*

*Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга  
Москва*

В Солнечной системе нет места более романтического, чем Марс. Были времена, когда весь просвещенный мир только о нем и говорил. Например, столетие назад всеобщий интерес вызывали марсианские каналы, дискуссия о природе которых вышла далеко за рамки научных публикаций. Достаточно вспомнить, что именно тогда, в 1898 г., был написан самый известный роман о нашествии марсиан на Землю – «Война миров» Г.Уэллса. Английский литератор создал свой ше-

девр под впечатлением самых свежих астрономических открытий.

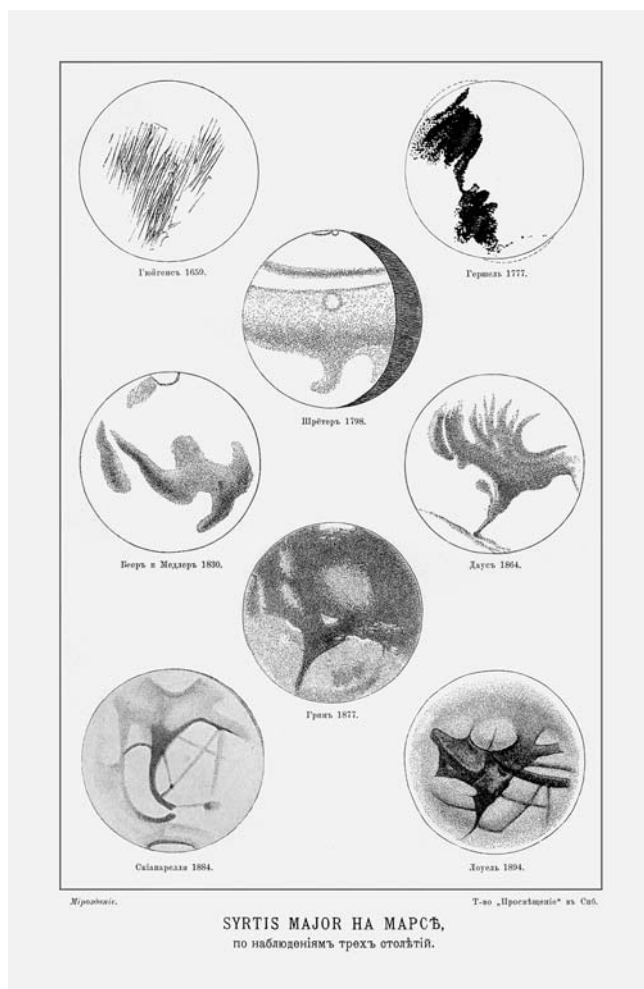
В те годы в астрономии происходила техническая революция: строились невиданно крупные и совершенные телескопы, которые устанавливались в тщательно выбранных местах, обеспечивающих изумительное качество изображений. Благодаря этому удалось сделать прорыв во всех областях астрономии, в том числе и в планетной. Имена великих астрономов – Дж.Скиапарелли, П.Ловелла, Э.Антониади, Э.Пикеринга, Г.А.Тихова... – были в те годы очень популярны.

Очарование Марсом долго не оставляло великих писателей: появились «Аэлита» А.Н.Толстого (1923), «Марсианские хроники» Р.Брэдбери (1950), «Путь марсиан» А.Азимова (1955). Каждое противостояние Марса вызывало всплеск интереса к нему, но особенно долгожданнами были великие противостояния.

В конце августа 2003 г. как раз и случится великое противостояние Марса. Более того – **величайшее**, ибо столь тесного сближения наших планет не было еще на памяти человечества. Конечно, в эпоху космических полетов подобные события не

© В.Г.Сурдин





Зарисовки одного и того же полушария Марса, выполненные разными астрономами на протяжении двух с половиной столетий. Темная деталь в центре рисунков — самое заметное пятно на Марсе, открытое еще Х.Гюйгенсом. На картах Дж.Скиапарелли это треугольное пятно названо Большим Сиртом (Syrtis Major), как средиземноморский залив у побережья Ливии (на нынешних картах — Залив Сидра). Исследования Марса с космических аппаратов показали, что Большой Сирт действительно самая темная область на Марсе; но это не морской залив, а горное плато.

ская вытянута весьма заметно. А поскольку между противостояниями проходит немногим более двух лет, Земля за это время совершает чуть больше двух оборотов, а Марс — чуть больше одного. Значит, при каждом сближении планеты встречаются в различных местах своих траекторий, подходя друг к другу на разную дистанцию. Если противостояние случается в период нашей зимы (с января по март), расстояние до Марса остается довольно большим, около 100 млн км. Если же мы сближаемся с соседом в конце лета, когда тот проходит перигелий своей орбиты, оно сокращается всего до 56—60 млн км. Такие благоприятные противостояния называют великими, они случаются через каждые 15 или 17 лет и непременно приносят астрономам новые знания о Красной планете. Противостояние тем благоприятнее, чем ближе оно приходится к 28 августа, так как в этот день Землю и перигелий орбиты Марса разделяет минимальное расстояние.

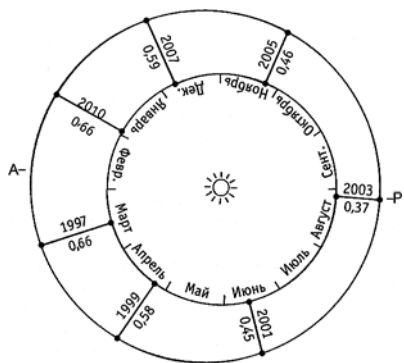
Самым знаменитым по праву считают противостояние, случившееся в начале сентября 1877 г. Именно тогда американский астроном Асаф Холл

играют уже той роли, какую они играли в прошлые столетия для астрономов, изучавших Марс с поверхности Земли. С противостояниями прошедших двух веков связаны самые громкие открытия и «закрывтия» в истории Марса. Важнейшие из них — спутники и каналы. Но если со спутниками — Фобосом и Деймосом — все более или менее ясно, то проблема каналов оказалась скорее забытой, чем решенной. Вспомним ее драматическую историю, обратившись к трудам участников и очевидцев этой научной эпопеи, но сначала — немного о предстоящем противостоянии.

Земля и Марс — космические соседи. Оборот Земли по орбите происходит за год, а Марса — почти за два земных года. Поэтому Земля «по внутренней до-

рожке» сначала перегоняет медлительного соседа, но вскоре, обогнав его на круг, вновь оказывается в роли догоняющего. Так они и «бегают» уже несколько миллиардов лет, постоянно сближаясь и удаляясь. Их сближения происходят примерно через каждые два года и называются противостояниями, поскольку Марс в это время находится на небосводе напротив Солнца. Астрономы ждут этих моментов: тогда поверхность Марса изучать в телескоп удобнее всего.

Если бы орбиты Земли и Марса были совершенно круглыми и лежали в одной плоскости, все противостояния были бы одинаковыми. Но орбиты планет эллиптические. Правда, земная орбита отличается от окружности лишь чуть-чуть, зато марсиан-



Противостояния Марса с 1997 по 2010 г. Вдоль орбиты Земли (внутренняя окружность) указаны месяцы ее прохождения по данному участку. У орбиты Марса (наружная окружность) указаны точки ее перигелия (P) и афелия (A). На линиях, соединяющих планеты в момент противостояния, указан год и минимальное расстояние до Марса в астрономических единицах.

(1829—1907) открыл оба спутника Марса — Фобос и Деймос. И тогда же итальянский астроном Джованни Скиапарелли (1835—1910) увидел знаменитые марсианские каналы (в 1879 г. он подтвердил это открытие). Называя темные пятна на Марсе, как они именовались и ранее, морями и заливами, а соединяющие их линии — каналами (*canali*), он просто следовал астрономической традиции. Но позже некоторые энтузиасты восприняли эти названия всерьез и даже полагали, что каналы — это искусственные сооружения, созданные для орошения полей. Одним из таких энтузиастов, много сделавшим для изучения планет, был американский астроном Персиваль Ловелл (1855—1916), на свои средства построивший великолепную обсерваторию в Флагстаффе (штат Аризона). В 1894—1896 гг. он составил и опубликовал карту Марса, на которую нанес множество одиночных и сдвоенных каналов, прямых как стрела, тяну-

щихся на тысячи километров. В комментариях Ловелла, как вы сможете убедиться, речь шла не просто о жизни на Марсе, но и о разумных его обитателях.

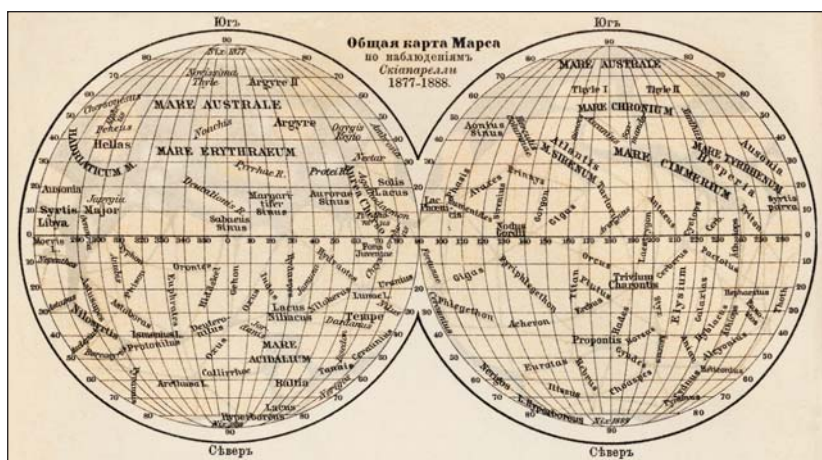
Однако великое противостояние 1909 г. принесло разочарование сторонникам марсианской цивилизации: новые крупные телескопы и близкое расположение космического соседа позволили провести великолепные наблюдения, подорвавшие веру в искусственные каналы. Особенно отличился при этом французский астроном греческого происхождения Эжен Антониади (1870—1944). Благодаря своим обширным данным, полученным на прекрасном большом телескопе в Медонской обсерватории под Парижем, он показал, что каналы представляют собой неправильные темные полосы, образуемые отдельными пятнами различной величины.

В дальнейшем Антониади вернул Марсу интерес широкой публики, обнаружив, что эта планета все же не совсем мертвая: во время противостояния 1924 г. он в течение четырех ночей наблюдал светящиеся выбросы на краю ее диска, над областью Эллада. Все ожидали следующего великого противостояния 1939 г. Именно к нему и были подготовлены книги о Марсе, фрагменты из которых мы при-

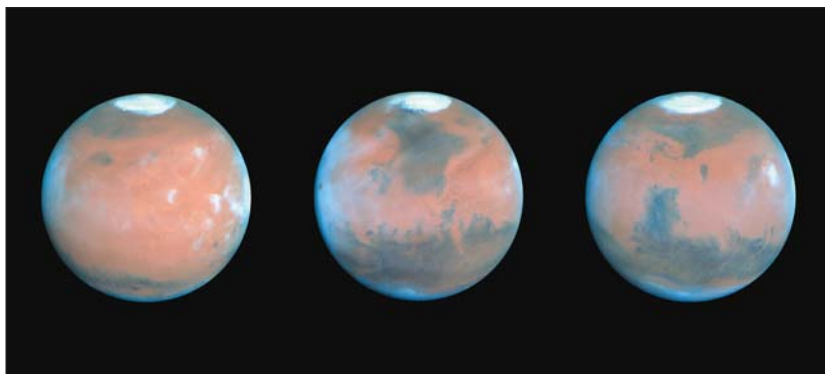
водим ниже, — «Жизнь на других мирах» Королевского астронома (т.е. директора Гринвичской обсерватории) сэра Хэрольда Спенсера Джонса (1890—1960), а также «Планета Марс и вопрос о жизни на ней» московского профессора Иосифа Федоровича Полака (1881—1954). Исследования тех лет повернули интерес ученых к атмосфере Марса. А после 1964 г., когда стали доступны детальные снимки, переданные с межпланетных аппаратов, и никаких каналов на них не оказалось, эта проблема была забыта, хотя и не решена.

Сегодня любому из нас доступны великолепные снимки Марса, полученные с помощью Космического телескопа Хаббла и межпланетных зондов, но увидеть самому поверхность планеты, на которой, возможно, была (или даже есть?) взвешенная жизнь, — незабываемое впечатление. Такой случай представится нам в ближайшее время. Хотелось бы, наконец, понять, какие именно пятна на его поверхности складываются в стройные прямые линии-каналы, и главное — почему.

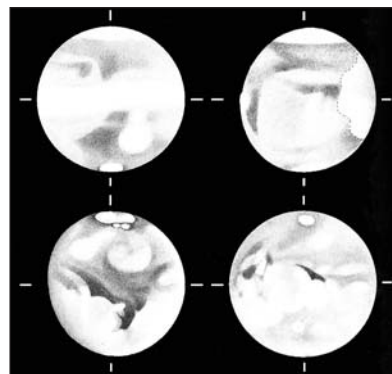
До сих пор каждое великое противостояние Марса приносило нам новые знания об этой удивительной планете. Вероятно, и нынешний год не станет исключением, поскольку теперь



Полная карта Марса, составленная Дж.Скиапарелли в 1877—1888 гг. Обратите внимание, что здесь, как и на других старинных картах Марса, планета показана в перевернутом, «телескопическом» виде.



Снимки Марса в разных ракурсах, полученные Космическим телескопом Хаббла (США).



Зарисовки Марса, сделанные итальянскими любителями астрономии в 1984—1988 гг. при помощи телескопов с объективами диаметром от 20 до 36 см.

Красная планета подойдет к Земле так близко, как не случилось уже около 100 тыс. лет! Формальная дата противостояния Марса и Солнца — 28 августа 2003 г., но максимальное сближение с Землей до расстояния 55 758 005 км наступит 27 августа в 9 ч 52 мин по всемирному времени (в 13:52 московского времени). По счастливому стечению обстоятельств именно на этот день придется новолуние, так что условия для астрономических наблюдений

будут идеальные. Впрочем, следует помнить, что они останутся таковыми весь август и сентябрь. Видимый диаметр диска планеты достигнет в эти дни 25", поэтому даже в простом школьном телескопе с 75-кратным увеличением Марс будет выглядеть, как Луна для невооруженного глаза. В безоблачную августовскую или сентябрьскую ночь не заметить планету на небе будет просто невозможно: ее красноватый огонек станет сиять значительно ярче любой звезды, поднимаясь к полуночи на юге до высоты около 20° над горизонтом (на широте Москвы).

Посмотрите в таблицу: за последние два столетия почти столь же максимальных сближений Земли с Марсом было всего три. Эти «почти величайшие» противостояния происходили с промежутком в 80 лет. Дважды в жизни такое не увидишь!

Всем, кто имеет возможность воспользоваться телескопом, рекомендую не упустить шанс и понаблюдать, зарисовать или сфотографировать Марс. Не думайте, что это будет просто: для занятий лучше выделить несколько ночей и потренироваться заранее. Желательно иметь телескоп с диаметром объектива не менее 10 см, тогда вы наверняка увидите южную

полярную шапку Марса. А при определенном терпении,ждавшись благоприятного для хорошего изображения состояния атмосферы и применив окуляр с большим увеличением, вы сможете заметить и главные географические образования планеты — так называемые моря, заливы и, возможно, некоторые каналы.

Чтобы ваши наблюдения превратились в настоящую охоту за открытиями, советуем познакомиться с приведенной ниже краткой историей марсианских каналов, составленной из слов ее участников и очевидцев. По сути, эта история так и осталась незавершенной. Кто знает, какие сюрпризы нас ждут при детальном исследовании тех областей, которые 100 лет назад считались каналами.

Кстати, спустя две недели после величайшего противостояния произойдет еще одно любопытное явление: 9 сентября Луна закроет Марс. Правда, наблюдать это смогут лишь жители Восточной Сибири и Дальнего Востока (Бурятия, Читинская и Амурская области). Зато 9 ноября все жители Белоруссии и европейской части России смогут полюбоваться полным лунным затмением, которого на Земле никто не видел уже несколько лет. Чистого вам неба! ■

**Таблица**

**Расстояние между Землей и Марсом во время великих противостояний 1830—2035 гг. (дано в астрономических единицах)**

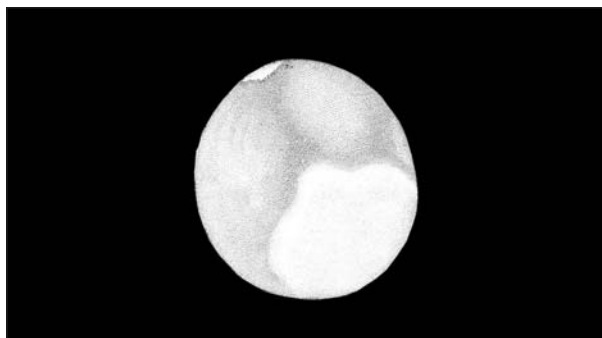
Дата	Расстояние, а.е.
19 сентября 1830	0,3885
18 августа 1845	0,3730
17 июля 1860	0,3927
5 сентября 1877	0,3771
4 августа 1892	0,3777
24 сентября 1909	0,3919
23 августа 1924	0,3729*
23 июля 1939	0,3893
10 сентября 1956	0,3789
10 августа 1971	0,3759
22 сентября 1988	0,3931
28 августа 2003	0,3729
27 июля 2018	0,3862
15 сентября 2035	0,3813

\* Всего на 1900 км больше, чем в 2003 г.



## Из книги Дж.Гершеля «Очерки астрономии» (М., 1861. Перевод с английского А.Драшусова).

Марс. В этой планете мы часто видим совершенно явственно такие очертания, которые могут обозначать материки и моря. На рисунке Марс представлен не совсем полным, как он был виден 16 августа 1830 г. в 20-футовый рефлектор в Слау. Первые, то есть материки, имеют тот красноватый оттенок, которым отличается цвет этой планеты, без сомнения обозначающий общий вохряной тон почвы; в таком же виде, только ярче, может быть, представляют жителям Марса части земной поверхности, покрытые красным песчаником. В противоположность этому, по общему закону оптики, моря кажутся зеленоватыми. Впрочем, пятна не всегда показываются с одинаковой ясностью; но когда они бывают видимы, тогда очертания их представляются, при вращении планеты, в определенном и весьма характеристическом виде, так что при помощи тщательных наблюдений нашли возможным составить грубую карту всей поверхности планеты. Разнообразие пятен может происходить от того, что планета не лишена атмосферы и облаков; а блестящие пятна



Марс по рисунку Дж.Гершеля, наблюдавшего планету в рефлектор диаметром 45 см 16 августа 1830 г.

при ее полюсах делают такое предположение весьма правдоподобным: одно из них изображено на нашем рисунке. Полагают, что эти пятна, вероятно, происходят от снега, потому что они исчезают, когда остаются долго под влиянием Солнца, и бывают наибольшие по выходе из длинной ночи полярной зимы.

## Из книги К.Фламариона «Живописная астрономия» (СПб., 1897. Перевод с французского Е.Предтеченского)

Первый вопрос, возникающий при рассмотрении карты Марса, состоит в том, действительно ли те темные пятна, которые мы называем морями, представляют собою водные пространства. Может быть, относительно Марса мы в настоящее время находимся в таком же заблуждении, в каком оказывались до половины последнего века по отношению к Луне. Что эти пятна могут быть морями — это не подлежит сомнению, потому что вода поглощает свет вместо того, чтобы отражать его подобно твердой земле; но известного рода темные вещества, чисто минеральные, или местности, покрытые растительным ковром, могли бы произвести на свет такое же действие; это именно и оказалось верным для Луны, где точное наблюдение обнаружило сухую и неровную почву на тех обширных серых пространствах, которые долгое время считались настоящими морями. <...>

Все свидетельства согласно ведут к тому заключению, что моря, облака и полярные льды Марса более или менее сходны с нашими. Тем не менее, не следует спешить с заключением о со-

вершенном тождестве обеих планет. Марс представляет также и значительные несходства с нами. Наш шар покрыт водами морей на протяжении трех четвертей его поверхности; самые большие из наших материков, можно сказать, не что иное, как острова. На Марсе воды и материки распределены более равномерно, и даже материков там больше, чем морей.

Но есть другое обстоятельство, не менее достойное нашего внимания: моря Марса представляют замечательную разницу в своем цвете или оттенке. Мы можем трояким образом объяснять цвет водных пространств на Марсе, как и на Земле. Светлые местности могут быть болотистыми прибрежными равнинами или затопленными временно пространствами. Основной цвет Марсовых морей — зеленый, такой же как и у Земных морей; но этот оттенок меняется, как изменяются же и самые размеры морей. Нам отсюда приходится иногда наблюдать явления, подобные тем, какие могли бы представить нам обширные местности, подвергшиеся большому наводнению. Подобно тому как наши



реки после бурь делаются желтыми и мутными, точно так же и на Марсе цвет вод меняется со временами года.

Материки Марса отличаются желтым цветом, это и дает планете тот огненный оттенок, какой замечаем мы простым глазом. В этом отношении Марс существенно разнится от Земли. Наша планета, рассматриваемая издали, должна казаться зеленоватою, потому что зеленый цвет является преобладающим как в наших морях, так и на материках. Благодаря присутствию атмосферы, этот зеленый цвет должен смягчаться и переходить в голубоватый. Астрономы Венеры и Меркурия должны видеть наши моря темно-зелеными, а материки — светло-зелеными с разными оттенками, пустыни — желтыми, полярные льды и снега — ярко-белыми; белыми же кажутся им и наши облака, равно как и вершины высоких горных хребтов, покрытые вечным снегом. На Марсе снега, облака и моря представляются почти в таком же виде, как у нас, но материки его имеют желтый цвет, как будто это сплошные поля ржи, пшеницы, кукурузы, ячменя или овса.

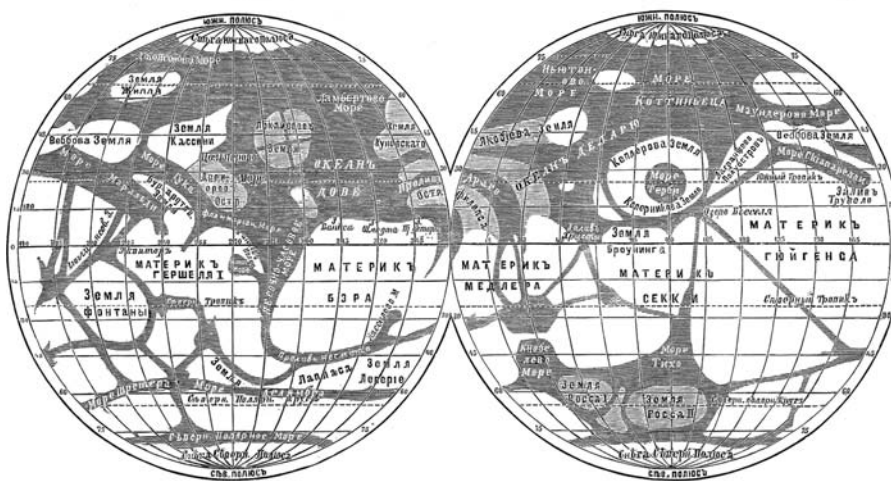
Эта желтая окраска не может зависеть от атмосферы, т.е. от того, что атмосфера эта, как иные полагали, красного, а не голубого цвета, как наша; потому что в таком случае подобная окраска распространялась бы на всю планету и напряженность ее увеличивалась бы от центра к окружности по мере увеличения толщины атмосферного слоя, проходящего отраженными от планеты лучами. Поэтому нам остается для объяснения сделать два предположения: или материки Марса — сплошные пустыни, покрытые

песком и другими минералами желтого цвета, или же допустить, что преобладающий цвет растительности на Марсе — желтый.

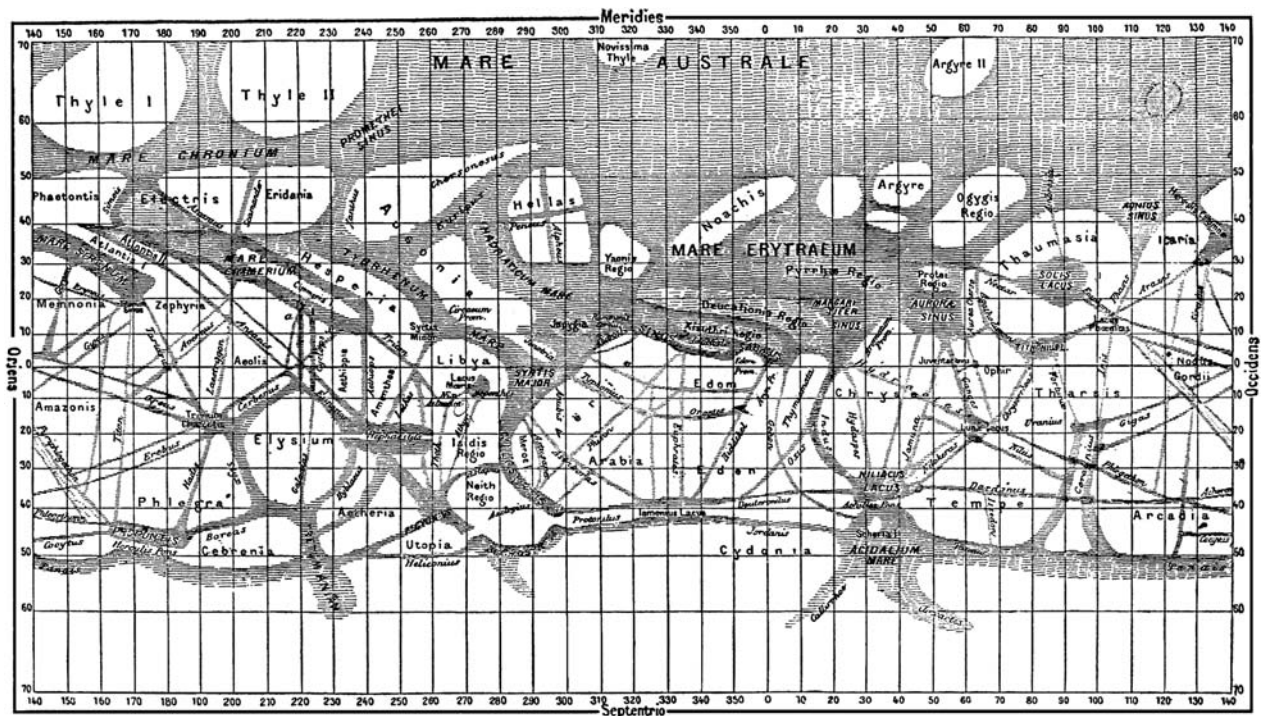
Первая из этих двух гипотез находится в полном противоречии с природой Марса, и можно только удивляться, каким образом многие астрономы, допускающие ее, не замечают этого противоречия. Допустить, что эта окраска зависит от цвета минеральной поверхности этого шара, значит допустить, что на этой поверхности нет ничего, никакой растительности, никакого покрова хотя бы из лишайев и мхов, что там нет ни лесов, ни лугов, ни полей, потому что, какова бы ни была растительность, покрывающая эту поверхность, во всяком случае мы видим ее, а не голую почву. Следовательно, первое предположение равносильно осуждению этого мира на вечное бесплодие.

Вид материков Марса прямо внушает нам простую мысль — расширить несколько наш кругозор в ботаническом отношении и допустить, что растительность не должна быть непременно зеленого цвета во всех мирах, что хлорофилл может проявляться различным образом и что разнообразная и пестрая окраска цветов и листьев у разных видов растений, наблюдаемая нами на Земле, может проявляться во сто крат больше в зависимости от тысячи новых условий. Мы не различаем отсюда форм марсовских растений, но можем заключить, что вся тамошняя растительность, в общей совокупности, от гигантских деревьев до микроскопических мхов, отличается преобладанием желтого и оранжевого цветов — по тому ли, что там много красных цветов или плодов такого же цвета, или по то-

### ОБЩАЯ КАРТА МАРСОВА МИРА.



Карта Марса из книги К.Фламариона «Живописная астрономия».



Загадочные каналы, открытые Дж.Скиапарелли в 1877 и 1879 гг.



Рисунок Марса, выполненный П.Муром 12 октября 1956 г., во время последнего великого противостояния Марса докосмической эры.

му, что сами растения, т.е. их листья — не зеленого, а желтого цвета. Красное дерево с плодами зеленого цвета по нашим земным понятиям кажется нам нелепостью; но на самом деле достаточно, чтоб химическое соединение частиц или даже простое размещение их произошло иначе, чем на Земле, чтобы один цвет переменялся на другой.

Трудно не видеть на Марсе зрелищ, сходных с теми, какие представляются нам в различных местностях Земли — с ручьями, струящимися по руслам из разноцветных камешков, отсвечивающих всеми цветами радуги при освещении их лучами солнца, с безымянными речками, пересекающимися равнины и в виде водопадов скатывающимися в долины и низменности, по которым они медленно катят свои воды к морям. Реки на Мар-

се, так же как и здесь, получают свою дань от ручьев и потоков; тамошние моря, подобно нашим, бывают то спокойны и гладки, как зеркало, то взбудоражены волнами; точно так же, как и здесь, они вздымаются и опускаются под действием Солнца и лун, быстро кружащихся по небу Марса, причиняя попеременно приливы и отливы.

Но, по-видимому, материки Марса более плоски и ровны, чем наши, и почти всюду представляют обширные равнины, потому что, с одной стороны, здешние моря выступают из берегов и заливают часто громадные пространства земли, отступая потом на такие же расстояния; с другой же стороны, прямые линии или каналы, открытые в 1879 г. Скиапарелли и с тех пор вновь виденные не только этим астроно-

мом, но и другими, доказывают нам, что здесь возможна геометрическая сеть прямых линий, тянущихся по всем материкам на огромные расстояния. Эти прямые линии составляют удивительную геометрическую сетку. Их цвет, по-видимому, указывает на то, что это действительно каналы, наполненные водой.

Здесь не место описывать подробно эти открытия, но читатели наши могут составить

себе представление об этой своеобразной сети каналов, рассмотрев карту Скиапарелли, прилагаемую здесь. Большая часть этих каналов состоит из двух параллельных линий, то видимых, то невидимых. Какая удивительная и непонятная для нас география! Но когда-нибудь, без сомнения, удастся разгадать эту тайну.

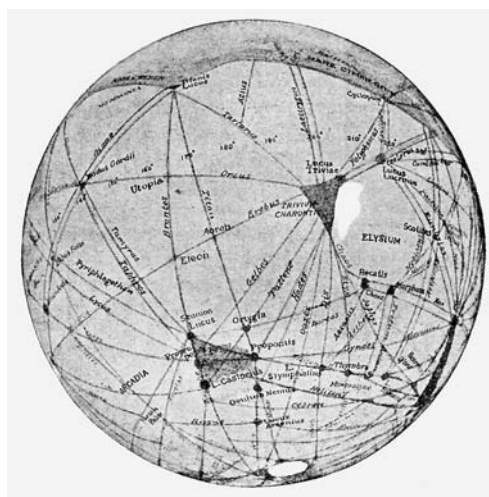
*Из главы «Планета Марс — уменьшенное подобие Земли»*

## Из книги П.Ловелла «Марс и жизнь на нем» (Одесса, 1912. Перевод с английского под редакцией А.Р.Орбинского)

Тридцать лет тому назад те области на Марсе, которые принимались за материки, казались гладкими пятнами; да и странно было бы ожидать чего-либо другого, рассматривая материк на таком далеком расстоянии.

Но в 1877 году замечательный наблюдатель сделал еще более замечательное открытие. В этом году Скиапарелли, всматриваясь в материк Марса, открыл на них длинные узкие полосы, которые с тех пор получили очень большую известность под названием каналов Марса. Уже при первом поверхностном знакомстве они произвели поразительное впечатление, но чем больше их изучали, тем чудеснее они оказывались. Не будет преувеличением сказать, что эти каналы являются самыми поразительными объектами, какие небо когда-либо показывало нам. Бывают на небе зрелища более ослепительные, картины, внушающие больше благоговейного ужаса; но на мыслящего наблюдателя, которому посчастливилось видеть их, ничто на небе не производит такого глубокого впечатления, как эти каналы Марса. Это всего лишь тонкие линии, ничтожные паутинные нити, опутывающие своей сетью лик Марсова диска. Но и за миллионы километров пустого пространства, отделяющего нас от планеты, эти нити неудержимо влекут к себе нашу мысль.

Как ни поразителен вид одного отдельного канала, но это ничто в сравнении с тем впечатлением, которое производит на наблюдателя количество их и еще более их расчлененность. Когда Скиапарелли закончил работу, которой он посвятил свою жизнь, им было открыто всего 113 каналов; в настоящее время число это возросло до 437 благодаря новым каналам, открытым во Флагстаффе. Эти многочисленные линии образуют сочлененное целое. Каждая соединена с ближайшей самым непосредственным и простым образом: они встречаются своими концами. Полу-

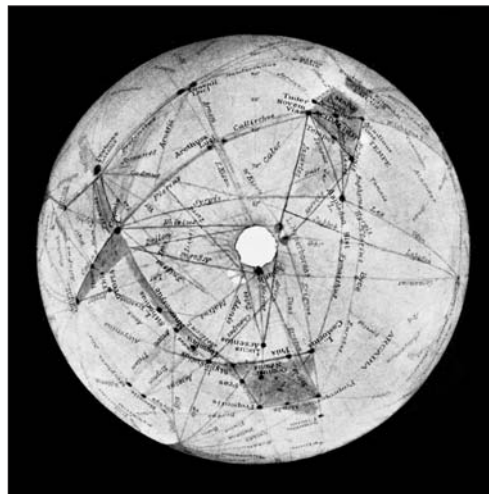
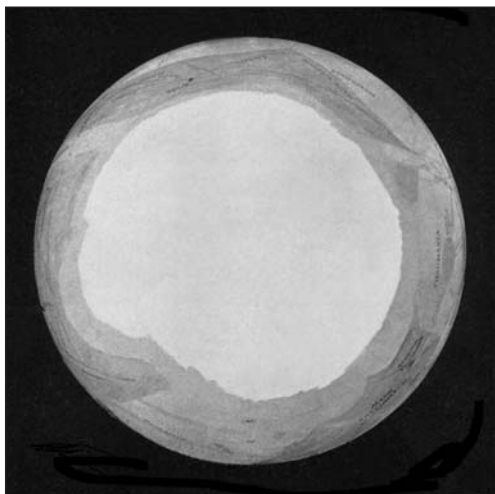


Так выглядит сеть марсианских каналов по наблюдениям П.Ловелла.

чается такая картина, как будто весь диск оплетен кружевом сложного и изящного рисунка, покрывающим лик планеты.

Одной из самых замечательных особенностей этих линий является их расположение. Они соединяют друг с другом все выдающиеся пункты поверхности. Если мы возьмем карту планеты и все бросающиеся в глаза места на ней соединим прямыми линиями, то мы найдем, к нашему изумлению, что получилось воспроизведение действительности. То обстоятельство, что эти линии, с одной стороны, находятся в такой зависимости от топографии, а с другой стороны, совершенно не зависят от того, какие области они пересекают, весьма красноречиво говорит нам о характере этих образований: оно показывает, что эти линии более позднего происхождения, чем сами главные особенности поверхности.





Южная (слева) и северная полярные шапки Марса (1905).

Долгое время пионеры, которые открывали этот новый мир, не разглашали своих открытий, так как не умеющие смотреть в телескоп раскритиковывали все это, как пустые мнения и иллюзии: так легко люди поддаются обманчивому голосу предубеждения. Но в 1901 году на Флагстаффской обсерватории были начаты попытки заставить эти открытия самим поведать о себе миру путем собственной записи на фотографической пластинке. Прошло однако много времени прежде, чем удалось заставить их сделать это. Первая попытка не дала никакого результата, вторая, два года спустя, была более удачна: посвященные, но только одни они, могли уже видеть слабые намеки; но спустя еще два года долгие усилия увенчались успехом. Наконец-то удалось запечатлеть эту странную геометричность на снимке. Фотографический подвиг, заключающийся в том, чтобы заставить эти линии держаться неподвижными относительно камеры достаточно долгое время, т.е. уловить воздушные волны такой длины, чтобы изображение каналов успело закрепиться на фотографической пластинке, — этот подвиг совершил Лампланд. Тщательное изучение, терпение и искусство помогли ему добиться успеха в этом необыкновенном деле, о котором Скиапарелли с удивлением писал автору этой

книги: «Я никогда не поверил бы, что это возможно».

Как ни удивителен вид каналов, но изучение раскрыло в них нечто еще более удивительное: их вид изменяется в зависимости от времени. Каналы постоянны по своему положению и непостоянны по своему характеру. В одну эпоху они являются объектами, которые бросаются в глаза, так что их почти невозможно не заметить, в другую, спустя немного месяцев, приходится напрягать всю остроту зрения, чтобы только найти их.

Наше изучение приводит, по-видимому, к заключению, что ростом и убылью этих странных образований управляет определенный закон. Вода, освобожденная таянием полярных покровов, оживляет каналы, они быстро становятся явственными, остаются такими в течение нескольких месяцев и затем медленно замирают. Мы заключаем, что явления, обнаруживаемые каналами, объясняются вегетацией. Накопленная в виде снега вода, сбросив ледяные оковы и освободившись из зимних вместилищ, начинает течь и на своем пути вызывает к жизни растительность. Последняя является действительной причиной того, что мы видим каналы с постепенно возрастающей ясностью.

*Из главы «Каналы и оазисы на Марсе»*



## Из книги Г.Спенсер-Джонса «Жизнь на других мирах»

(М.; Л., 1946. Перевод с английского А.К.Федоровой-Грот под редакцией Н.И.Идельсона)

Многие считают, что Марс наиболее интересный небесный объект, так как это единственный мир, для которого у нас, по-видимому, имеются прямые доказательства жизни, и так как, по мнению некоторых астрономов, изучение Марса приводит к убеждению о существовании на нем разумных существ. <...>

Заключение, к которому пришел Скиапарелли после длительного изучения планеты, состояло в том, что «каналы» были постоянными образованиями на ее поверхности. Их длина и расположение оставались неизменными или колебались только в небольших пределах. Но вид их и самая степень видимости изменялись значительно от одного противостояния Марса к другому или даже в течение нескольких недель. К тому же эти изменения вида «каналов» не были одновременны; они появлялись неожиданным образом, так что один «канал» мог сделаться неотчетливым или даже невидимым, в то время как «канал» поблизости становился очень заметным. «Каналы» пересекали друг друга под всевозможными углами, но обычно они встречались у небольших темных пятен, которые Скиапарелли истолковывал, как озера. Каждый «канал» оканчивался либо у озера, либо у другого «канала», либо у моря. Но ни один из них не был срезан посреди континента, оставаясь как бы без начала или конца.

Заключение Скиапарелли (1893), весьма продуманное, состояло в том, что «каналы» в действительности представляют собой борозды или углубления на поверхности планеты, предназначенные для протока воды. Изменения внешнего вида «каналов» Скиапарелли приписывал наводнениям, вызванным таянием снегов, за которым следовало всасывание воды в почву и в отдельных случаях ее высыхание. Скиапарелли добавлял, что вся паутина «каналов» представляет собой, вероятно, геологическое образование, так что нет необходимости предположить в них результат созидательного труда разумных существ.

Крупным поборником теории искусственного происхождения каналов был американский астроном Ловелл. <...> Ловелл заключал, что «каналы» являются искусственными протоками, созданными разумными существами для переноса тающих вод от полюсов на всю поверхность планеты и проведенными от точки к точке по кратчайшему пути. По мере того как вода распространяется по каналам, орошение вызывает появ-

ление растительности вдоль их берегов; в оазисах, где встречаются каналы, находятся плодородные области, где и живут марсианские существа.

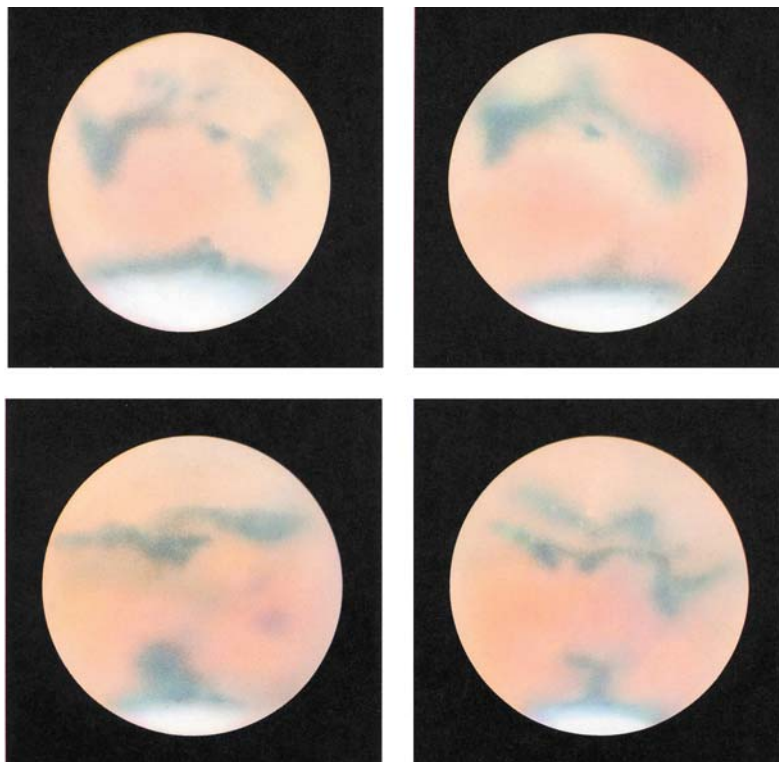
Только при наличии разумного населения и никаким другим образом можно было предупредить неизбежное и все усиливающееся высыхание планеты. Очевидно, недостаток воды не мог скакаться внезапно; для этого необходим медленный и постепенный процесс. Местные нужды заставляли обращаться к более отдаленным запасам, как это делается и на Земле, чтобы обеспечить надлежащую подачу воды в крупных центрах и городах. Так постепенно на Марсе переходили к запасам воды на все больших расстояниях, пока, в конечном счете, вся планета не покрывалась обширной сетью каналов, обеспечивающих воду и возможность развития растительного мира на планете.

Такова была в ее основе теория Ловелла; привлекательная, остроумная и логичная — если только та, доставленная наблюдениями база, на которой она покоится, может быть принята. Но именно здесь и возникает затруднение: хотя некоторые наблюдатели Марса, имевшие в своем распоряжении инструменты средних размеров, и подтверждали наблюдения Ловелла, но были и такие наблюдатели, которым не удавалось констатировать основные явления, составлявшие базу его теории; некоторые из них обладали большой остротой зрения, пользовались заслуженной репутацией и работали на мощных инструментах и в превосходных условиях. Вопрос о природе деталей, наблюдаемых на Марсе, сделался предметом жестокой полемики. Но время шло; полемика замерла...

Мы вынуждены отвергнуть те соображения, на которых Ловелл основывал свою теорию о жизни на Марсе разумных существ. Однако не имеется ли достаточных доказательств существования на нем каких-либо форм жизни вообще, хотя бы и не обязательно жизни разумной? Температура здесь не настолько высока и не настолько низка, чтобы мы могли совершенно исключить возможность жизни, хотя значительное суточное колебание температуры и быстрота ее изменений могли бы оказаться очень тягостными для любой формы жизни, с которой мы знакомы на Земле. Водяные пары, несомненно, имеются в его атмосфере, и есть доказательства наличия кислорода, хотя запасы его, быть может, и приближаются к истощению. Не существ-

Сезонное уменьшение северной полярной шапки Марса на рисунках английского астронома П. Мура.

Слева направо, сверху вниз:  
19 ноября 1960 г., 25 декабря  
1960 г., 11 января 1961 г.,  
6 февраля 1961 г.



вает причин, по которым жизнь на Марсе не могла бы приспособиться к таким условиям.

О том, что на поверхности Марса время от времени происходят изменения, мы уже говорили. Некоторые из них носят чисто сезонный характер, другие же совершенно нерегулярны. Ловелл утверждал, что ему удалось установить волну потемнения, распространяющуюся в направлении экватора планеты по мере таяния ледяной шапки в летнем полушарии. Эти указания его не были полностью подтверждены другими наблюдателями, которые находили, что эти изменения и не так просты и не так ярко выражены. Однако все, по-видимому, сходятся в том, что имеются большие изменения как внешнего вида, так и окраски различных деталей, совпа-

дающие со сменой времен года. Эти изменения было бы трудно объяснить иначе, как допустив сезонный рост растительного покрова.

Цвет поверхности Марса служит определенным доказательством присутствия на нем свободного кислорода, во всяком случае в прошлом. Но наличие свободного кислорода почти несомненно требует существования растительности. Сопоставляя это заключение с теми доказательствами, которые мы получаем, изучая изменения, происходящие на поверхности Марса, мы можем прийти к выводу, что та или иная форма растительной жизни на Марсе почти несомненно существует.

*Из главы*

*«Марс — планета угасшей жизни»*

### Из книги И.Ф.Полака «Планета Марс и вопрос о жизни на ней» (М., 1939. Издание третье, дополненное)

**Теория Ловелла.** Для объяснения явлений, которые Ловелл видел на поверхности Марса, он придумал свою известную теорию обитаемости планеты. Впрочем, весьма вероятно, что не теория явилась выводом из наблюдаемых фактов, а, наоборот, самые явления, открытые на Флагстафской обсерватории, были следствием за-

ранее предвзятой идеи. Твердое убеждение, что Марс населен высокоорганизованными разумными существами, заставило Ловелла и большую часть его сотрудников создать из бледных, мимолетных теней на диске планеты ту картину, которую они желали видеть и которая, к сожалению, очень далека от действительности.

По Ловеллу, моря Марса — это места, покрытые растительностью. Это доказывается изменением их вида в разные времена года; они бледнеют зимой и становятся особенно темными к середине лета.

Где же и в каком виде находится на Марсе вода, питающая эту растительность? Главным, даже, вероятно, единственным источником воды, поддерживающим растительность на всей планете, являются *полярные снега*, которые летом тают и вода которых могла бы в это время быть использована для орошения... если бы на Марсе кто-нибудь устроил подходящую оросительную систему.

Но самые каналы с Земли не видны. Те линии и полосы, которые мы называли этим словом, в действительности так широки, что даже Ловелл не решается допустить, чтобы обитатели Марса могли прорыть проливы в десятки километров шириной, тянущиеся на тысячи километров. То, что мы видим с Земли, — это полоса орошенной и покрытой растительностью почвы; посередине ее проходит узкий настоящий канал, поддерживающий жизнь на более или менее широком пространстве, а дальше, по обе стороны зеленой полосы, простирается мертвая, выжженная пустыня. Таким образом объясняется волна потемнения и появления каналов, распространяющаяся на Марсе каждую весну от полюса к экватору. На Земле волна пробуждения природы распространяется в противоположном направлении, от экватора к полюсам; у нас растительность оживает с усилением солнечного нагревания, на Марсе — с появлением воды, которая орошает раньше полярные области, чем экваториальные.

Вот в кратком изложении эта увлекательная теория, которая получила широкую известность благодаря остроумию и литературному таланту Ловелла.

**Теория Маундера и Черулли.** Самым горячим противником ловелловой картины поверхности Марса является английский астроном Маундер. Он собрал все факты и соображения, говорящие против геометрической сети каналов, и проделал с той же целью ряд любопытных опытов.

При наблюдениях планет замечались несомненные темные линии правильной формы. Это — деления кольца Сатурна. Как и следовало ожидать, эти щели видны тем лучше, чем сильнее инструмент. Совсем не то происходит с каналами Марса. В более сильные трубы они сплошь и рядом видны не лучше, а хуже, чем

в слабые. Сам Ловелл отмечает, что они как бы «вовсе не имеют ширины» и кажутся тем уже, чем условия наблюдения благоприятнее. Они не подчиняются, таким образом, законам оптики и, следовательно, субъективны.

Почти одновременно с Маундером к тем же выводам пришел итальянский астроном Черулли. Во время противостояния 1896 г. ему удалось рассмотреть, что некоторые из каналов Скиапарелли представляют сложную систему отдельных мелких пятнышек. Это заключение он распространил и на остальные каналы. Больше всего заинтересовало астрономический мир его открытие каналов на... Луне. Черулли показал, что если рассматривать Луну в слабый бинокль, то без труда можно заметить на поверхности нашего спутника прямые темные линии, которые при наблюдении в телескоп совершенно исчезают. Такие же каналы можно открыть и на фотографиях Луны, только не на больших фотографиях с помощью громадных инструментов, а на фотографиях с горошину величиной, если их рассматривать простым глазом!

**Теория Антониади.** Антониади разделяет взгляд Ловелла, что Марс представляет собой планету, гораздо дальше продвинувшуюся в своем высыхании, чем наша Земля. Большая часть его поверхности покрыта желто-красными безводными пустынями. Темные части («моря»), несомненно, изменяющие свой цвет и густоту окраски, могут быть покрыты растительностью, аналогичной растительности земных полупустынь.

Настоящих морей на Марсе нет, в лучшем случае есть только большие озера. Никакой правильной геометрической сети прямых линий — каналов — на Марсе не существует. Пятна на планете везде имеют очень сложное строение. Но во многих случаях неправильные детали поверхности Марса располагаются полосами как на Земле. Вспомним «прямые» линии наших географических карт малого масштаба: цепи гор и островов, долины больших рек, береговые линии некоторых материков. Такие же «прямые» линии есть и на Луне (горные цепи, трещины, светлые полосы). Почему же им не быть и на Марсе, твердая кора которого образовалась, вероятно, в результате тех же процессов, что и земная кора?

Эта теория пользуется теперь почти всеобщим признанием.

Из главы  
«Теория Марса»

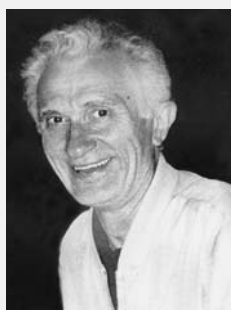
# Ледниковая катастрофа на Северном Кавказе

В.М.Котляков, О.В.Рототаева

Причины катастрофических подвижек пульсирующих ледников (в том числе схода ледника Колка в Северной Осетии 20 сентября 2002 г.) и возможности их предсказания не так давно обсуждались в нашем журнале [1]. В конце апреля в телевизионной программе «Независимое расследование» на ТВС поднимался вопрос о том, кто виноват в случившейся трагедии на Северном Кавказе (погибло более 100 человек, уничтожены сравнительно недавно построенный поселок Нижний Кармадон и несколько баз отдыха). В эмоциональных выступлениях родственников погибших проскальзывала мысль, что ответственность должны нести специалисты, которые не предупредили заранее о грозящей людям беде, поскольку прогноз наступления ледника (2030 г.) был неверным. Никто, однако, не вспомнил о том, что 60-летний период после подвижки 1969 г. был назван лишь временем для накопления ледником критической массы при неизменных внешних условиях. А подвижку 2002 г. спровоцировали экстремальные природные события, предсказать которые за 30 лет невозможно, как нельзя прогнозировать задолго, например, извержения вулканов или землетрясения. Заметить заранее надвигающуюся катастрофу можно было бы лишь при грамотном мониторинге, который проводился ежегодно в 70–80-х годах, а позже отсутствовал по причинам экономического характера. Мы попросили подробнее рассказать о Колке гляциологов, которые прежде работали в этом районе и проанализировали материалы, имеющие отношение к подвижкам этого ледника.

Известно, что главное отличие пульсирующих ледников от обычных — неустойчивость динамического режима, вызванная их строением (прежде всего морфологией), особенностями питания и характером стока, который чаще всего затруднен либо на всем протяжении, либо на определенном участке. Это вызывает подпруживание движущегося льда, который в течение многих лет накапливается перед препятствием, наращивая массу до определенного критического объема. Когда тормозящие силы не могут противостоять сдвигающим, происходит резкая разрядка напряжения, ледник продвигается.

Впервые следы неожиданных наступаний ледников были отмечены в Альпах в XVI—XVII вв. В начале XIX в. при строитель-



**Владимир Михайлович Котляков**, академик, директор Института географии РАН. Область научных интересов — гляциология, география полярных и горных стран, геоэкология. Много работал в Антарктике, на Памире, Кавказе, на полярных островах.



**Оксана Васильевна Рототаева**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела гляциологии того же института. Изучает режим, морфологию и динамику горных ледников. Участник экспедиций на Памир, Тянь-Шань, Кавказ.



стве Военно-Грузинской дороги русские инженеры столкнулись с завалами в Дарьяльском ущелье — их оставили подвижки ледников Казбека. В дальнейшем такие сведения накапливались, но фиксировались лишь конечные результаты, а начало и развитие оставались неизвестными.

Пульсирующие ледники стали предметом детальных исследований начиная с 1960-х годов — сначала на Памире [2] (катастрофическая подвижка с прорывом подпруженного озера в 1963 г.), а потом на Кавказе, когда в конце 1969 г. неожиданно тронулся ледник Колка, расположенный на северном склоне Казбек-Джигарайского массива в истоках р.Геналдон (бассейн Терека). Здесь в течение девяти лет вела подробные исследования экспедиция Института географии АН СССР [3].

## Подвижки прошлого

Ледников в бассейне Геналдона немного, самый крупный — Майли, круто спускающийся от фирновых полей Казбека и образующий в среднем течении мощный ледопад (площадь 6,8 км<sup>2</sup>, длина 6,4 км). Слева от него в пологом каре расположен второй по величине, карово-долинный, с асимметричным питанием — ледник Колка. Правый скалистый склон его круг и поднимается на 1200—1500 м. В верхней его части, с гребня на высотах 4000—4700 м спускаются разорванные трещинами участки фирновых полей и висячие ледники. Снежные лавины, обвалы фирна и льда в течение всего года служат источником питания Колки.

В спокойные периоды между подвижками длина ледника — 3130 м и площадь 2,47 км<sup>2</sup>, а вместе с висячими ледниками — 3,74 км<sup>2</sup>. Его конец в такое время лежит на высоте около 3000 м (так было при стабильном его положении в конце 20-х годов). Тыловая часть под крутыми сте-

нами цирка поднимается до 3450 м. Пологая и довольно ровная поверхность забронирована сплошным моренным чехлом, источником которого служит обломочный материал, обильно поступающий с окрестных скальных склонов. Более двух третей поверхности в области абляции (расхода) полностью защищены от таяния слоем морены толщиной до 1 м. Вдоль всего левого края тянется высокий вал береговой морены, играющий в жизни ледника важную роль, затрудняя отток льда, поступающего с правого борта, вниз по долине.

Таким образом, само строение ледника — малые уклоны и переуглубления в ложе, упор стекающего льда в сдерживающий левый борт и последующий крутой разворот линий тока, широкая чаша цирка с относительно узким выходом, массивный, полого залегающий язык пассивного льда с нарастающим во времени моренным чехлом, резко снижающим таяние, — все это вызывает постоянное подпруживание льда, накопление избыточных масс и нарастающее напряжение сдвигающих сил. Расчеты показали, что в 50—60-х годах, т.е. до подвижки 1969 г., постоянный положительный баланс массы Колки обеспечивал ежегодное увеличение массы на 1—1,3 млн т [3].

Хотя при достижении критической массы разгрузка льда неизбежна, характер ее может быть различным. Так, подвижка 1969 г. развивалась постепенно. Продвижение фронта началось 28 сентября, а 4 октября ледник достиг края Майли, пройдя за шесть суток 1300 м. К концу октября активность Колки резко упала, но в начале ноября он возобновил мощное наступание, взломал лед на конце Майли и частично втянув его в движение. Повернув вниз по долине, масса раздробленного льда толщиной 100—130 м перекрыла Верхнекармадонские источники и, наступая со скоростью 20—50 м/сут, заполнила верховья

долины Геналдона и остановилась в начале января 1970 г. на отметке 1975 м над ур.м. Таким образом, с конца сентября ледник увеличил длину на 4100 м и спустился на 800 м.

Подвижка 1969 г. достигла наибольшего развития в зимнее время, когда количество талой воды в бассейне было минимальным, что определило спокойный ход событий.

Иной сценарий имела Геналдонская катастрофа 3 июля 1902 г., в разгар жаркого лета. Температура воздуха во Владикавказском округе во второй половине июня превышала норму на 2,7°C. В июне и первых числах июля прошли сильные ливни. В бассейне скопилось большое количество талой и дождевой воды. Развитие события началось, как и при пульсации 1969 г., продвижением языка Колки. Треск и грохот был слышен на Верхнекармадонских источниках с середины июня, а р.Геналдон временами превращалась в поток черной грязи [4]. В конце июня конец ледника, изрезанный трещинами, уже был виден в узком ущелье слева от Майли, и часть его обвалилась, запрудив на время реку. Катастрофа произошла, когда ледяной выброс, превратившийся в пульпу из льда, воды и морены, в считанные минуты пронесся сокрушительным селем. Он промчался по долине до створа аула Тменика, расположенного высоко на склоне.

В это время в верховьях ледник продолжал наступать, заполнив собой все ущелье и набирая воду. Вторая волна селя прошла 6 июля, а ночью произошел новый выброс скопившейся в завале воды. В результате дно долины оказалось под массой льда и камней на протяжении 9 км. Толщина завала достигала 50 м, а на склоне долины в районе Верхнекармадонских источников были отмечены следы «волны» прошедшего селя на высоте до 100 м. Нижняя граница ледникового выброса сейчас отмечена на пойме несколько-



Язык ледника Колка после подвижки 1969–1970 гг.  
Фото К.П.Рототаева

Ледовый выброс Колки в 1902г.  
Видны старые башни на склоне близ аула Тменикау.  
Фото 1902 г. Из архива Северо-Осетинского краеведческого музея



ми крупными валунами, каждый размером с небольшой дом.

Таким образом, в обоих случаях подвижка развивалась постепенно, в несколько этапов, и лишь финал ее был различным. Исследователи того времени, еще ничего не зная о пульсирующих ледниках, высказывали предположение, что это были обвалы ледяных потоков на кру-

том правом склоне, нижние концы которых упирались в Колку. В результате очень сильного таяния предыдущих лет его толщина стала быстро уменьшаться, а боковые ледники, не имея опоры внизу, должны были свалиться [4].

Суммарный объем льда, выброшенного в долину, а также застрявшего выше, в узком ущелье

Колки, в 1902 г., оценен в 100–110 млн м<sup>3</sup>, а в 1969 г. — не превышал 80 млн м<sup>3</sup>. Скорость движения фронта составляла 60–70 км/ч, а на коротком прорывном участке, возможно, превышала 100 км/ч.

Совершенно очевидно, что подобные катастрофы происходили здесь и прежде. В литературе упоминается ледниковый



выброс 1835 г. Все старые аулы в Кармадонской долине, в отличие от других долин Кавказа, располагаются не на самом удобном месте, днище, а на склонах или даже гребнях ближайших хребтов (селения Тменикау, Кани, Старая Саниба). Это, безусловно, связано с известной населению с давних времен опасностью ледниковых катастроф (которая в последние годы оказалась забытой: поселки достраивались и на днище ущелья).

Исследования экспедиции 70-х годов в долине р.Геналдон позволили установить следы еще одной — более старой и более крупной ледниковой подвижки. Это — выбросы льда, запиравшего долину перед выходом реки в Кармадонскую котловину, и мощного селя, провавшего эту плотину.

Здесь к левому склону приклонен крупный массив с бугристой поверхностью, сложенный грубым несортированным материалом с обломками пород, вынесенных из верхней зоны гор. Его граница поднимается над рекой до 70 м, выше по долине — до 50 м.

Плотина впоследствии была прорвана водой. Образовался мощный сель или серия селей, заваливших дно котловины, по которому веером расходятся длинные прерывистые гряды вынесенного материала вплоть до входа в ущелье Скалистого хребта. Сель перекрывал р.Кауридон (боковой приток Геналдона), которая промыла под склоном новое временное русло, а также сформировал поверхность 10-метровой террасы ниже завала. В ущелье Скалистого хребта, в углублениях отвесных скал в 10 м над рекой, сохранились «примазки» грубообломочного темного материала.

20 лет назад один из исследователей Колки, К.П.Рототаев, считал, что турбулентно-вязкий ледовый сель со значительным водосодержанием, подобный выбросу 1902 г., в современных

условиях может, по-видимому, достигать выхода в Кармадонскую котловину. Сель обеспечивает отрыв масс от основного ледника и последующие скопления за ним прорывающихся вод. При еще больших скоростях движения он способен достигать Скалистого хребта и даже проникать в ущелье, образуя крупные заторы. При этом волна может «взбегать» на склоны при поворотах долины, сель интенсивно обогащается обломочным материалом склонов и поймы, становится еще более активным. Особенно сильно он должен разгружаться в пределах Кармадонской котловины, частично Скалистого хребта и на Гизельском участке [3]. Катастрофа именно такого масштаба и по такому сценарию разразилась в долине р.Геналдон в наши дни.

20 сентября 2002 г. огромные массы льда, воды и камней стремительно пронесли вниз по долине и остановились перед грядой Скалистого хребта, образовав завал на протяжении 4 км. Лед проник и в начало теснины, завалив оба входа в тоннель на автодороге. Дальше вниз по ущелью еще на 12 км пронесся водно-грязевой сель с глыбами льда, причиняя дальнейшие разрушения. Вдоль краев завала, на контакте со склонами, и особенно в тыловой его части видно множество мелких и крупных озер — массив был насыщен водой. Через несколько дней вода начала «пропиливать» каналы вдоль краев завала.

В боковой долине р.Кауридон, близ селения Старая Саниба, возникло озеро, которое подтопило дома, построенные в последние годы близ реки вопреки старым традициям. В первые дни его уровень возрастал со скоростью 2 м/сут, а в октябре стал уменьшаться до 10—30 см/сут. Так продолжалось и месяц спустя после ледникового выброса.

Поселок Нижний Кармадон был полностью снесен. Здесь, в тыловой части, завал покрыл

левый склон долины не менее чем на 50 м. У стен Скалистого хребта, по предварительным оценкам, высота завала достигала 100 м. Вдоль всей долины Геналдона, начиная с самых ее верховьев, рыхлые отложения в нижней части склонов были сорваны. Масса селя шла по долине, оставляя на высоте более 100—140 м над рекой глыбы льда и каменного материала.

Самая неожиданная картина открылась в цирке Колки. Оказалось, что ледник ушел из своего вместилища полностью, оставив обнаженным скальное ложе, внутренний склон левой морены и продольный уступ снежоледяных толщ вдоль подножия правого, питающего борта. Причем ушел с огромной скоростью — буквально вылетел на ледник Майли; как видно по следам, язык Майли оказался почти неповрежденным, а правый борт долины над ним ободран. Такое не фиксировали еще нигде в мире, тем более что ледник не был висячим, а располагался в цирке и имел небольшой уклон поверхности (порядка 7—9°С).

Совершенно очевидно, что подобное могло случиться лишь при накоплении под ледником большого количества воды. Такому накоплению способствовало аномальное таяние льда и снега в высокогорной зоне Кавказа в течение предшествовавших четырех лет, что вызвано продолжительными периодами с высокими температурами воздуха в условиях устойчивых антициклонов. Лето 2002 г. было особенно дождливым (вспомним обширные наводнения в Ставропольском крае, Северной Осетии и Ингушетии), так что в бассейне ледника, и особенно в рыхлых толщах, накопилось необычно много воды. Однако и это кажется недостаточным для такой резкой реакции, хотя, по-видимому, обилие воды на окружающих склонах и в толще самого ледника подготовило его к дальнейшему катастрофическому развитию событий.



▲  
 Каменно-ледовый завал перед  
 грядой Скалистого хребта  
 в начале октября. Справа — вход  
 в ущелье. В центре на склоне  
 старое село Нижнее Кани, левее  
 дома пос.Кармадон.

Фото Я.Д.Муравьева

За несколько минут ледник  
 обрушил в Кармадонскую  
 котловину миллионы тонн льда  
 и камней.

Фото из фондов МЧС



Пойма р.Гизельдон ниже ущелья  
 после схода геналдонского селя.

Фото И.В.Галушкина





Такой увидели свою долину утром 21 сентября жители Кармадона. Внизу, на пойме еще вчера был поселок Нижний Кармадон.

Фото из фондов МЧС



Спасательные работы начались с первого дня.

Фото из фондов МЧС

Судя по прошлым событиям, резкие подвижки Колки происходили через 60—70 лет, а в последнем случае прошло немногим более 30. Однако 70-летний период нельзя считать абсолютно достоверным, поскольку в 30—40-е годы наблюдений за ледником не было, как и во вто-

рой половине XIX в. Во всяком случае, катастрофических событий в долине Геналдона не случилось.

Ускорить подвижку 2002 г. могли изменившиеся внешние условия. Высказывалось мнение, что спровоцировать пульсацию ледника могло землетрясение,

но исследования на Аляске показали, что даже сильные подземные толчки не могут повлиять на сдвиг пульсирующих ледников, если они еще не готовы к подвижке. Добавим к этому, что, по данным сейсмологов, никаких землетрясений на Северном Кавказе в предшествовавшие этой подвижке дни не было. Ранее, 22 августа, сейсмостанция Цей, расположенная недалеко от района катастрофы, зарегистрировала землетрясение с эпицентром в 70 км к северо-северо-западу от г. Джиджиджид. Его эффект в Нальчике и Владикавказе составил 3 балла. Землетрясение на Черноморском побережье Кавказа 20 сентября силой в эпицентре 2—3 балла на сейсмограммах станции Цей не отразилось.

Еще одной причиной катастрофы в долине р. Гизельдон многие считают обвал льда в верховьях Колки. Ледяной обрыв был зафиксирован группой Министерства по чрезвычайным ситуациям РФ при первом же облете после подвижки. Однако альпинисты из Краснодара, которые поднимались на Колку 28 августа — 4 сентября (но бывали здесь неоднократно и в прошлые годы), были поражены непрерывавшимися обвалами горной породы и висячего льда именно в этом месте — в тылу правого борта. Стоял непрерывный грохот, и склон менялся буквально на глазах. На их снимках видно, что обрыв, зафиксированный 20 сентября, в то время уже почти полностью сформировался. Этот материал, вероятно, значительно увеличил нагрузку на ледник и толщину моренного чехла. Поверхность в тыловой части ледника, по их наблюдениям, превысила левую береговую морену, и в краевую ложбину стал сбрасываться лед. Еще раньше, 28 июня, другая группа наблюдала падение каменных обломков и льда с правого склона. Так что обвалы начались задолго до подвижки, и обрыв льда, замеченный на гребне, сформировался не за один раз.

Обвалы на этом склоне происходят постоянно летом и зимой, днем и ночью, это основной способ питания ледника. Они не могут влиять на его движение, пока он остается «сухим». Главное условие — большое количество воды в бассейне ледника, и прежде всего в нем самом.

Внешних признаков готовности пульсирующего ледника к подвижке немало, они были хорошо выражены на Колке и в 1969, и в 1902 гг., когда его поверхность повышалась и покрывалась трещинами. Лед начинал переваливать через гребень левой морены, особенно в тыловой части ледника. Его фронт, до того медленно наступавший, ускорял продвижение, разбивался на блоки и входил в узкое ущелье слева от языка Майли.

Мы получили космический снимок, сделанный с борта Международной космической станции 13 августа 2002 г., т.е. за 38 дней до подвижки. В это время поверхность языка еще не достигала достаточно высокого уровня, трещин не видно, конец ледника скрыт под мореной. К сожалению, видна лишь его нижняя половина, и не ясно, что происходит в верхней части. Эти данные дополняются наблюдениями уже упомянутой группы альпинистов. На снимке в районе конца ледника видна серия из 4—5 дугообразных валов, следующих друг за другом на протяжении 0,5 км. Наш коллега, заведующий отделом дистанционного зондирования Л.В.Десинов полагает, что они могут отмечать уже активизировавшийся фронт, однако это не очевидно. Альпинисты, побывавшие на Колке в августе — начале сентября, отметили появление новых озер близ конца ледника и свежий сход нескольких селей, в том числе со льдом из ущелья Колки. Это говорит о большом количестве воды, скопившейся под ледником и сыгравшей, вероятно, решающую роль в его срыве. Об этом



Верховья Геналдона после срыва ледника Колка. Справа — цирк и его пустое днище. В нижней части — язык ледника Майли.

Здесь и далее фото И.В.Галушкина



Участок обвала висячего льда и горной породы с гребня Джимарай-Майли.

же свидетельствует и почти неповрежденная поверхность языка Майли, на середину которого «выскочил» Колка.

На снимке, сделанном через месяц, 17 октября 2002 г., с борта Международной космической станции, на правом склоне, уже запорошенном снегом, видны

черные полосы продолжающихся обвалов.

Время и продолжительность катастрофы известны достаточно точно. 20 сентября, в 20 ч 08 мин, на всех сейсмостанциях Северной Осетии отмечены колебания, не характерные для землетрясений; они продолжа-



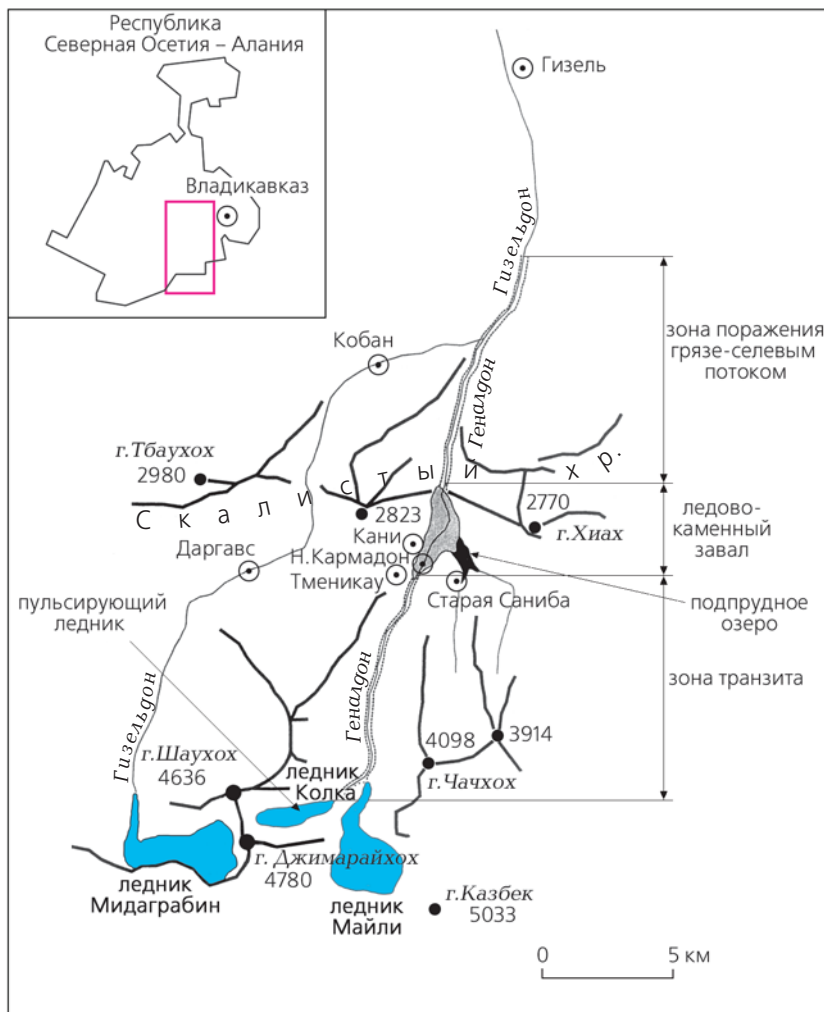


Схема последствий катастрофической подвижки ледника Колка 20 сентября 2002 г.



Облако пара и газа в тыловой части цирка Колки.

лись около 3,5 мин, а в 20 ч 13 мин зафиксировано разрушение ЛЭП, пересекающей долину р.Геналдон на уровне с.Кани. Таким образом, ледяные массы прошли 12 км за 4–6 мин, т.е. скорость потока, состоявшего из льда, камней и воды, существенно превысила 100 км/ч.

### Причины ледниковой катастрофы

Не так уж важно, насколько была подготовлена подвижка по сравнению с прошлым периодом — на 50% или на 80%. Как бы то ни было, прошло более 30 лет. Пульсирующий ледник по прошествии такого времени безусловно находился в неустойчивом динамическом состоянии. Периодичность его подвижек сохраняется при неизменных условиях, но под влиянием сильных внешних факторов, в экстремальных ситуациях, объем критической массы, при которой сдвигающие силы преодолевают тормозящие, может быть и иным. В данном случае, как видим, в леднике накопилось огромное количество воды, ставшей основной причиной преждевременной подвижки. Очевидно, вода оторвала ледник от ложа, и сформировался мощный водно-ледово-каменный сель. Возможно, и в самом процессе движения селя по долине в нем прогрессирующе увеличивалось содержание воды, в том числе и в результате выделения большого количества тепла при внутреннем трении обломков, что плавало переносимый лед.

Есть и еще один интересный факт. В тыловой части пустой ледниковой чаши обнаружен сильный запах сероводорода. Выход газа настолько интенсивен, что здесь почти невозможно дышать. В цирке после схода ледника постоянно висит облако пара и газа, хорошо видное на снимках. И этот факт, и активно разрушающийся расположенный рядом склон — вероят-



но, следствие новых вулканических проявлений Казбека. В таком случае можно предположить и особые термические условия под ледником, вызвавшие донное таяние и образование водной подушки на его ложе, ускорившей сдвиг. По-видимому, они же вызвали и серию продолжительных обвалов льда и горной породы и появление очагов таяния на холодной северной стене на высотах 4500—4700 м.

Правда, за девять лет работы на Колке в 70-е годы никаких проявлений выхода газов в его цирке мы не заметили. Однако в долине р.Геналдон, ниже языка Майли, на высоте 2250 м находятся известные Верхнекармадонские термальные источники с температурой воды до 60°C, что свидетельствует о вулканической активности в районе Казбека.

Таким образом, предварительный анализ данных приводит к выводу, что природа данной катастрофы чисто гляциальная, более того — обычная для этой долины. Но то, что она была спровоцирована раньше времени и достигла колоссального масштаба, обусловлено сложившимся комплексом факторов: неустойчивым динамическим состоянием ледника, уже накопившего массу, близкую к критической; мощным скопле-

нием воды в нем и под ним; обвалами льда и горной породы, создавшими большую перегрузку в тыловой части, и, совершенно очевидно, вулканогенным фактором. Важную роль играет, по всей вероятности, тектоническое строение района: долина Колки находится в зоне крупных субширотных разломов, где возможны смещения отдельных блоков и землетрясения. Что касается крупного обвала, о котором много говорилось в первые дни после катастрофы как о прямой причине срыва ледника, — он не был единовременным, обвалы начались задолго до подвижки. Возможно, их развитие и было спровоцировано землетрясением 22 августа 2002 г., зарегистрированным сейсмостанцией Цей.

Можно ли было предсказать эту катастрофу? Вряд ли. В данном случае стоит говорить о сложном природном явлении, объединяющем подвижку ледника и ледниковую лавину. Прогноз таких явлений в настоящее время отсутствует, можно только констатировать их наличие и картографировать зоны опасности.

Случившиеся события ставят еще одну важную проблему, о которой недавно говорили наши коллеги, — организацию системы мониторинга опасных ледниковых и других природ-

ных стихийных явлений [1]. Необходимо, наконец, создать наземно-воздушно-космическую службу наблюдений за опасными природными и природно-техногенными явлениями. Это было ясно еще в конце 70-х годов [5].

А сам ледник Колка теперь десятки лет будет восстанавливать свой объем. На его ложе льда практически не осталось — он был вынесен вниз и заполнил Кармадонскую котловину. Этот завал будет медленно таять, постепенно превращаясь в каменно-грязевой массив. Вода будет активно пропиливать каналы в толще завала, возможны внутренние обрушения и подпруды, грозящие селевыми паводками. Особую опасность из-за прорыва вод представляет Санибанское озеро, объем которого оценивается от 3 до 10 млн м<sup>3</sup>.

Этим летом в Кармадоне будет работать комплексная экспедиция. Отряды МЧС и службы мониторинга Северной Осетии начнут здесь постоянные наблюдения, и мы также примем в этом участие. Думается, момент нового «созревания» ледника на этот раз не будет упущен. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-05-64055.**

## Литература

1. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Что дает мониторинг пульсирующих ледников? // Природа. 2003. №4. С.3—13.
2. Долгушин Л.Д., Евтеев С.А., Кренке А.Н. и др. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1964. №5. С.30—39.
3. Рототаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М., 1983.
4. Штебер Э.А. Ледниковые обвалы в истоках Генал-дона // Терский сб. Владикавказ, 1903. №7. С.72—81.
5. Котляков В.М. // Исслед. Земли из космоса. 1981. №1. С.7—15.

# По степям и лесам Горного Алтая

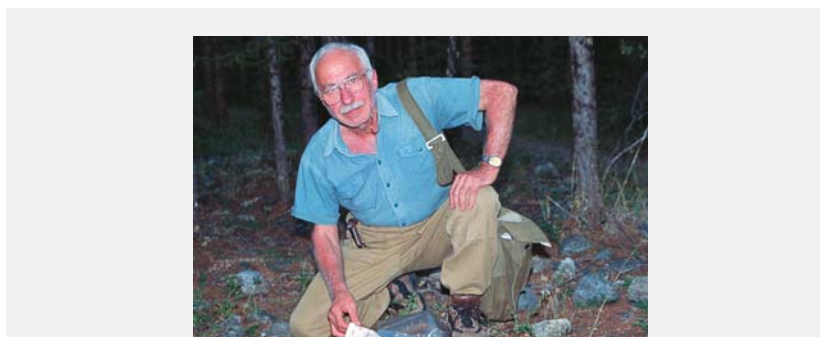
С.М.Бебия

В октябре 2001 г. в моем кабинете раздался телефонный звонок. Звонил мой давнишний друг, венгерский энтомолог Ретезар Имре и просил организовать и возглавить международную биогеографическую экспедицию на Алтай, расходы на которую готов был взять Уйпештский музей бабочек. Помимо нас в экспедиции собирались участвовать директор музея Д.Юхас, липидоптеролог Т.Хац и ботаник-лесовод И.Юхас.

Безусловно, для любого ученого такое предложение — подарок судьбы, однако, согласившись, я хорошо сознавал, насколько сложна организация и тем более руководство подобной экспедицией в наше время. Впоследствии мои опасения оказались не напрасными, тем не менее экспедиция состоялась и оказалась на редкость успешной и результативной.

\* \* \*

Прилетев в Барнаул ранним утром 7 июля, мы тут же отправились в Горно-Алтайск, столицу Республики Алтай. Дорога до г.Бийска выглядела довольно однообразной: вокруг раскинулись бескрайние дали с типичными рельефами предгорья Алтая, с злаково-разнотравной



**Сергей Михайлович Бебия**, доктор биологических наук, профессор, директор Института ботаники Академии наук Абхазии и заведующий кафедрой лесного хозяйства Абхазского государственного университета. Действительный член Московского общества испытателей природы и Национального географического общества США. Участник международных ботанических и дендрологических экспедиций на Карпаты, Урал, Тянь-Шань, Приморский край, Сахалин, Курильские острова, Хоккайдо, Тайвань. Область научных интересов — история и география горных лесов Евразии, лесообразовательные процессы и динамика лесных растительных сообществ, систематика, дендрология, интродукция растений.

и лугово-степной растительностью. Характерно, что аборигенная флора предгорных степей в исходном состоянии сохранилась лишь на небольших участках целины среди огромных площадей сельскохозяйственных угодий. Основу травостоя составляют дерновинные злаки — ковыли, мятлики, тонконог, типчак, тимофеевка, вейник, а также разнотравье — эс-

парцет, таволжник, полынь, люцерна, володушка. Удивительно было здесь встретить красоднев, или лилейник (*Hemerocalis flava*), с красивыми желтыми цветками на высоких цветоножках, множество (более 10 тыс.) форм и сортов которого используются в современном декоративном цветоводстве во всем мире. (Несколько сортов лилейника вывела в Сухумском

ботаническом саду известный цветовод Т.Н.Турчинская, получившая золотые медали на Международных выставках цветов в чешском городе Оломоуц.)

Стояла ясная погода, накануне прошел дождь, и июльская знойная жара ощущалась не так сильно. Немного передохнув в окрестностях Бийска, мы продолжили путь на юго-восток по знаменитому Чуйскому тракту, вдоль правого берега р.Катуни. По долине реки распространены лиственные леса из березы повислой, или бородавчатой (*Betula pendula*) и пушистой (*B. pubescens*), осины (*Populus tremula*) и тополя лавролистного (*P. laurifolia*), а также чистые березовые перелески. В отличие от горных областей Европы, Средней Азии и Дальнего Востока в лесном поясе горных систем Алтая и Сибири нет подпояса лиственных лесов, а березовые перелески и долинны березово-осиновые леса в степях предгорий, по мнению специалистов, следует рассматривать как первичные образования, выполняющие водоохранные и почвозащитные функции.

Есть здесь и хвойные леса из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), уходящие по долине Катуня далеко на юг в виде ленточных боров, которые вызывают восхищение не только у специалистов. (Подобные ленточные боры мы встречали также вдоль другой крупной реки Алтая — Бии, но об этом чуть позже.) До сих пор нет единого мнения о происхождении этих лесов, однако очевидно, что в основе их генезиса и развития лежит общая закономерность: сосновые боры Алтая интразональны, т.е. присутствуют в виде вкраплений по террасам рек, и приурочены, как правило, к песчаным почвам. Из-за пожаров и вырубков в долине Катуня ленточные боры прерываются лиственными (березовыми, осиново-березовыми) и лиственными насаждениями или злаково-кустарниковыми сообществами. В таких случаях вос-

становление коренных биогеоценозов без помощи человека может длиться десятилетиями. Но делать это нужно только с учетом основных закономерностей формирования и динамики ленточных боров, а также биоэкологии основной лесобразующей породы сосны. В противном случае можно лишиться уникальных природных образований.

К концу дня мы прибыли в Горно-Алтайск (до 1932 г. — Улала, а до 1948 г. — Ойрот-Тура), типичный провинциальный городок, основанный в первой половине XIX в. Расположен он в широкой межгорной котловине по обе стороны устья р.Маймы. Город хорошо озеленен в основном местными древесными породами, среди которых особенно декоративны и устойчивы к городской среде ель сибирская (*Picea obovata*) и пихта сибирская (*Abies sibirica*). В центральном парке, напротив Дома правительства ели и пихты достигают 20—25 м в высоту и имеют удивительно изящную узкопирамидальную, не превышающую 2 м в диаметре, крону с побегами почти от земли. Издали эти деревья напоминают кипарисы Черноморского побережья Кавказа. Кроме того, в городе растут тополь лавролистный, черемуха обыкновенная (*Padus racemosa*), береза пушистая, а также иноземные виды — дуб монгольский (*Quercus mongolica*), клен татарский (*Acer tataricum*), жетсуга Мензиса (*Pseudotsuga menziesii*).

На следующий день нас пригласили к М.А.Терехову, начальнику Управления природных ресурсов республики, где представили П.Ю.Малкова, любезно согласившегося сопровождать нашу экспедицию. Уточнив планы, объекты и маршруты экспедиции и закупив в городе продукты, мы выехали в полдень по Чуйскому тракту в южном направлении.

Вначале, до пос.Усть-Сема, дорога тянется вдоль правого берега Катуня с характерными

ленточными борами, затем — заметно поднимается в горы по широкому ущелью с близко прилегающими склонами хребтов, местами очень крутыми (высотой более 1000 м.). У поселка река течет относительно спокойно, образуя несколько рукавов, которые омывают покрытые густой долинной растительностью островки. Выше Катунь превращается в быструю горную реку с частыми порогами, а состав растительности заметно меняется из-за вертикально-поясного характера ее распространения. Береза пушистая, например, доходит лишь до 1400 м, чуть выше поднимается осина, а ель и пихта на сотню метров отстают от верхней границы леса, которую образуют кедровая сосна сибирская (*Pinus sibirica*) и лиственница (*Larix sibirica*). Сплошной покров тайги начинает редеть, деревья растут более плотными группами, но между ними все чаще возникают поляны, заросшие густым высокотравьем. Здесь же появляются виды низкорослых берез: круглолистная (*B.rotundifolia*) и кустарниковая (*B.bumilis*). Береза круглолистная — типичный психрофит (холодостойкое растение влажных почв высокогорий), эдификатор кустарниковых тундр и зарослей субальпийских кустарников, элемент Алтайско-Саянской ботанико-географической провинции. Вид полиморфный: высота куста может составлять от нескольких сантиметров до 1.5 м.

Интересно, что помимо уже упомянутых здесь обитает еще пять видов березы: эндемики Алтая — мелколистная (*B.microphylla*) и Келлера (*B.kelleriana*), а также повислая (*B.pendula*), извилистая (*B.tortuosa*) и Резниченко (*B.reznitzenkoana*). Ольха кустарниковая (*Alnus fruticosa*) очень редкий на Алтае вид, и мы действительно встречали ее в единичных экземплярах лишь по долинам рек Катунь и Бия.

Семинский перевал, расположенный на отметке 1700 м





Листоенничные и долинолиственные леса, поврежденные шелкопрядом.

Здесь и далее фото автора

над ур.м., встретил прохладной и пасмурной погодой, но вскоре туман рассеялся, и открылся неповторимой красоты ландшафт древнего пенеблена, а вдали стали видны вершины горы Сарлык. Здесь растут чистые кедровые леса, местами их сменяют большие поляны, образовавшиеся, вероятно, после пожаров, которые в Горном Алтае не редкость. Перевал расположен в высокогорном поясе, и кедровые деревья здесь сравнительно низкорослые (до 15 м высоты), древостой преимущественно IV—V классов бонитета.

За перевалом начался медленный спуск. Изменился состав хвойных лесов: появились ель и пихта, а ниже 1200 м стала преобладать лиственница. У обочины дороги наше внимание привлек трехметровый кустарник с плотной широкооальной кроной и темно-зеленой листвой, весь усеянный ярко-

красными плодами. Бузина сибирская (*Sambucus sibirica*) не только декоративное растение, ее плоды обладают целебными свойствами.

Через несколько часов мы въехали в широкую Онгудайскую котловину, склоны которой покрыты в основном сухолюбивой степной растительностью, лиственничники сохранились лишь в более влажных местах — в лесостепных речных долинах и прилегающих низкорьях (800—1300 м).

После Семинского перевала почти все лиственничные и долинолиственные леса вдоль берегов рек были серьезно повреждены сибирским и непарным шелкопрядами. Зрелище, прямо скажем, удручающее. Пожары и нашествия шелкопряда — настоящее бедствие для алтайских лесов. В прежние времена на борьбу с этим злом отпускались значительные средств-

ва и ситуация в лесах находилась под контролем. Теперь же положение иное: нет ни средств, ни техники, ни специалистов. Остается надеяться только на силы самой природы и лучшие времена, когда лесным хозяйством будут вновь заниматься всерьез.

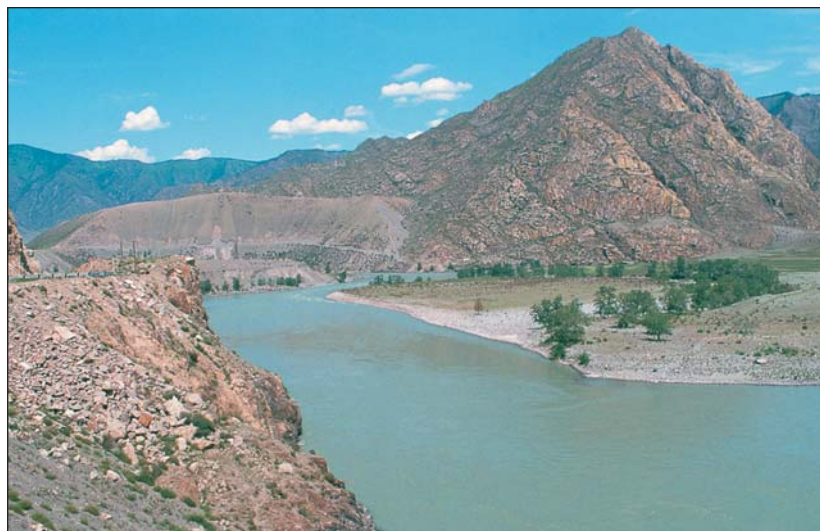
К вечеру мы добрались до районного центра Онгудай, расположенного в долине р.Урсул (834 м). Все были очень уставшими и определились на ночлег в местной гостинице — старом одноэтажном деревянном здании. Наши коллеги Т.Хац, И.Юхас и П.Малков разбили палатку на окраине села, чтобы ночью у опушки леса с помощью специальных световых ловушек поохотиться на ночных бабочек и жуков. Днем я занимался описанием условий местообитаний выловленных насекомых, проводил обследование и описание лесной и лу-



говой растительности прилегающих территорий.

В Онгудайском районе мы задержались на три дня, поскольку места оказались чрезвычайно интересными для энтомологов (среди пойманных насекомых они обнаружили новые, ранее не описанные подвиды). Заслуживает нескольких строк и сам Онгудай — старинное поселение, протянувшееся вдоль р.Урсул на 2 км. На небольшой центральной площади с монументом Ленину соседствует небольшая деревянная действующая церковь в окружении магазинчиков, ресторана и небольшого рынка. В центре поселка сохранилось несколько деревянных одно- и двухэтажных зданий, построенных более 100 лет назад, которые вполне могут быть отнесены к памятникам деревянного зодчества России.

Из Онгудая мы отправились в сторону Курайских степей и всего за два часа добрались до следующего перевала — Чике-Тамин (1295 м), где рабочие расширяли дорогу, разрушая скалы. Образовавшиеся на обочине щебнистые россыпи удивительно быстро покрылись растениями. Причем там, где скопилось хотя бы незначительное количество мелкозема,



«Лунный пейзаж» в долине р.Катунь.

обосновались не только типичные петрофиты (обитатели скал) тимьян ползучий (*Thymus serpyllum*) и смолевка (*Silene grandifolia*), но и представители степной растительности: например, лапчатка (*Potentilla bifurca*), гвоздика (*Dianthus versicolor*), полынь (*Artemisia frigida*), вика (*Vicia costata*) и др.

Замечу, что в Горном Алтае в результате естественных геологических процессов (горообразования, размыва горных пород, накопления речных и озер-

ных отложений и т.д.) образовалось довольно много скальных и россыпных участков, где формирование растительного покрова происходит порой в весьма экстремальных условиях и зависит от географического расположения этих участков.

За перевалом Чике-Тамин начался крутой спуск, и через 30 км мы вновь оказались в долине Катунь (650 м над ур.м). Доехали до устья р.Малый Яломан, где на левом берегу приютился небольшой одноименный посе-



Тимьян ползучий (слева) и василек сибирский на каменистых россыпях.





Лиственница сибирская и ее побег с шишками.

лок. Климат здесь значительно суше, горные склоны почти лишены растительности. Однако всего в нескольких километрах (в районе с.Иня) пейзаж совсем иной: горы покрыты лесом, а на северо-востоке видны высокие и тоже зеленые вершины Салджарского хребта.

Проехав еще чуть более сотни километров по Чуйскому тракту на юго-восток от Катгуни вдоль правого берега р.Чуй, мы оказались в центре высокогорных сухих Курайских степей (осадков здесь выпадает около 200 мм в год). Жара и усталость давали о себе знать, и на очередную ночевку мы остановились в с.Курай, расположенном в обширной древней котловине между Курайским и Северо-Чуйским хребтами на высоте 1500 м над ур.м.

На следующий день, оставив Чуйский тракт слева, мы отправились в сторону урочища Битыкель в верховья р.Актуру. Дорога шла по широким степным

просторам с характерной ксерофитной горно-степной растительностью. Лишь по берегам небольших рек и заболоченных водоемов можно было встретить узкие полосы леса с доминированием лиственницы и ели. Наиболее распространены здесь люцерна (*Medicago falcata*), тонконог (*Koeleria gracilis*), типчак (*Festuca sulcata*), мятлик (*Poa stepposa*), полынь (*Artemisia sericea*), осока (*Carex pediformis*), а также астрагалы (*Astragalus*), ковыли (*Stipa*), луки (*Allium*), лапчатки (*Potentilla*).

Примечательно, что среди этой степной равнины часто встречаются небольшие участки каменистых, сопкообразных возвышенностей до 50 м высоты. В расщелинах и небольших углублениях меж камней поселяются единично или небольшими группами низкорослая (до 5–8 м) лиственница сибирская, а также кустарники — можжевельник (*Juniperus sibirica*), барбарис (*Berberis sibirica*), ки-

зильник (*Cotoneaster unflora*). Секрет этого феномена природы чрезвычайно прост, но исключительно эффективен: днем на таких станциях каменные субстраты под жаркими лучами степного солнца сильно нагреваются, а ночью, остывая, конденсируют влагу, которая стекает в небольшие углубления или расщелины, где и поселяются растения. В этих же экотопах я обнаружил несколько экземпляров молодило (*Sempervivum* sp.), которое иначе решает проблему влагообеспечения. Довольно высокий (до 20 см) прямостоящий стебель сплошь покрыт утолщенными листьями, в которых накапливается влага. Интересно, что название рода переводится с латинского языка как «постоянно живущий». Растение действительно живет долго, но зацветает лишь однажды, а затем погибает. Такое ограничение, обусловленное экстремальными условиями обитания, молодило компенсирует приобретенным в процессе эволюции другим способом размножения — вегетативным, точнее розеточным. Благодаря этому все 30 видов рода обитают ныне от Альп до Гималаев, многие из них декоративны и используются для оживления рокариев. На этих же станциях обнаружены и другие, не менее декоративные петрофиты — астра альпийская (*Aster alpinus*) и колоколь-



чик сибирский (*Campanula sibirica*).

Проехав около 40 км по степи, мы увидели отчетливые очертания высоких отрогов Северо-Чуйского хребта с белоснежными ледниками и лесами в нижней части склонов. Горы стеной возвышаются на горизонте степной равнины. От такой чарующей красоты трудно оторвать взгляд, но мучительная знойная жара, да и время, торопили нас продолжить путь. В таких ситуациях обычно не замечаешь, как вдруг в камере заканчивается фотопленка.

Преодолев еще несколько километров, мы оказались в урочище Перевальном, где равнинная Курайская степь переходит в предгорье. Сквозь широкое ущелье на степной простор вырывается бурная горная река Актуру, которая берет начало в ледниках Черной горы на высоте более 2800 м. В этом месте степной тип растительности резко сменяется горно-таежным, что обусловлено, скорее всего, бо-

лее высокой влажностью в ущелье. Однако лиственнично-кедровые леса существуют здесь на пределе возможного, и даже небольшие изменения условий приводят к смещению границ леса в ту или иную сторону. Так, на щебнистых мелкоземах можно встретить единичные экземпляры или группы молодых и хорошо развитых деревьев лиственницы, кедра, ели, березы и осины, а на отдельных буферных участках, наоборот, — множество погибших и сухостойных деревьев, нет там даже жизнеспособного подростка. В таких экотопах, где на мощном моховом покрове развиваются густые заросли подлеска из березы круглолистной, караганы древоидной, или желтой акации (*Caragana arborescens*), дерезы (*C.frutex*), спирей (*Spiraea media*, *S.chamaedrifolia*), жимолости алтайской (*Lonicera altaica*), кизильника черноплодного (*Cotoneaster melanocarpa*), курильского чая (*Dasiphora fruticosa*), ив (*Salix* sp.) и др., невозможно

семенное возобновление хвойных лесообразующих пород.

Сразу за урочищем мы переправились через Актуру на машине и, проехав по тайге еще около 10 км, поднялись до урочища Битыкель (2100 м) — конечного пункта нашего маршрута, где планировалось провести биогеографическое обследование уникальной и вместе с тем чрезвычайно хрупкой и ранимой экосистемы.

Верховье Актуру исключительно живописное место. Река течет по более широкому и ровному руслу с множеством рукавов и островков. До величественной Черной горы с ледниками в межскальных понижениях не более 1.5 км. Склоны гор амфитеатром обращены к долине реки. На них несколько водопадов, которые вместе с тальми водами ледников формируют начало реки. Здесь постоянно обновляется рельеф в результате движения моренных отложений, разрушения и размыва горных склонов,



Горечавка желтая (слева) и вероника длиннолистная.





Ледник Черной горы в верховьях р.Актур.



Заросли приземистых (до 15 см) кустарников березы круглолистной и ивы нарядной.

в нижней части которых скапливаются щебень, крупные камни и обломки скал.

В таких динамичных экотопах стабилизация новых структур ландшафта и заселение их растениями чрезвычайно сложны и длительны. В столь экстремальных условиях проявляются

биоэкологические возможности растений, адаптивное разнообразие их биоморф, требующие изучения и охраны. Было бы логично и оправданно объявить верховье Актур вместе с прилегающими степными районами научным резерватом или заказником. Сейчас Битыкель актив-

но посещаемое место: в урочище проложены туристические маршруты, размещены дома отдыха, научная и учебные базы Томского госуниверситета и т.д. При нынешнем крайне неразумном отношении и эксплуатации природных ресурсов можно лишиться уникального природного комплекса. Надеюсь, работники природоохранных служб Республики Алтай разделяют нашу обеспокоенность.

В ущелье и верховье р.Актур произрастают практически все древесные и травянистые растения, характерные для лиственничных и кедровых лесов, а также субальпийских и альпийских поясов засушливых районов центральной части Горного Алтая. Основные лесообразующие породы — лиственница и кедр, в подлеске значительную роль играют березы круглолиственная и кустарниковая, лапчатка (*Dasiphora fruticosa*), ивы (*S.arbuscula*, *S.glauca*, *S.krylovii*), спиреи, караганы (*C.arborescens*, *C.pygmaeia*), жимолость алтайская (*Lonicera altaica*), смородина (*Ribes hispidulum*), можжевельник (*Juniperus sibirica*) и др.

У верхней границы леса хорошо выражена зона тундры мохово-лишайникового, кустарникового и травянистого типов. Кустарниковая тундра занимает высокогорное плато, участки сглаженного рельефа, небольшие седла между отдельными каменистыми вершинами. Хорошо выраженный сомкнутый кустарниковый ярус представлен главным образом ерником, в котором эдификатором служит береза круглолиственная, а структурно-подчиненную ценотическую роль играют ивы (*Salix arbuscula*, *S.krylovii*, *S.vestita*, *S.glauca*), можжевельник казацкий (*J.sabina*), спиреи (*Spiraea alpina*, *S.trilobata*), барбарис, караганы и др.

Богат и разнообразен флористический состав мохово-лишайниковой и травянистой тундр. Особенно привлекательны представители многочисленных групп разнотравья и бобо-

вых: кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis*), тмин обыкновенный (*Carum carvi*), чина луговая, или душистый горошек (*Lathyrus pratensis*), вика (*Vicia unijuga*) и др. Трудно не заметить бледно-желтые «звезды» эдельвейса (*Leontopodium ochroleucum*), золотистые зонтики володушки (*Bupleurum aureum*), крупные светло-фиолетовые соцветия колокольчика (*C. trachelium*) и астры (*Aster alpinus*), темно-синие цветы горечавки (*Gentiana algida*, *G. grandiflora*), высокие (до 120 см) столбики вероники длиннолистной (*Veronica longifolia*), разноцветные гвоздики (*Dianthus superba*, *D. versicolor*) и т.д. Все они декоративны, особенно в пору цветения, и вполне могут украсить парки и сады любого стиля и уровня.

Истинное украшение Горного Алтая — лилия кудреватая, или саранка (*Lilium martagon*), редкое многолетнее луковичное растение до 130 см высоты с соцветием из 15 чалмовидных розовых с темно-бурыми пятнами и слабым ароматом цветков до 4 см в диаметре. Растение медоносное, лекарственное и исключительно декоративное.

В верховьях Актуру хорошо представлено семейство лютиковых (*Ranunculaceae*): помимо собственно лютиков (*R. grandifolius*, *R. altaicus*) здесь обычны купальница азиатская (*Trollius asiaticus*) высотой до 60 см с крупными оранжевыми цветками, водосбор (*Aquilegia glandulosa*) высотой до 70 см с характерными двояко-тройчатыми листьями на длинных черешках и нежными бледно-голубыми цветками, живокость высокая (*Delphinium elatum*), достигающая 3 м высоты, с многочисленными собранными в ветвистую кисть синими цветками, акониты (*Aconitum septentrionale*, *A. altaicum*), растения до 2 м в высоту. Всего на Алтае встречаются примерно 46 видов из 15 родов этого древнего семейства, и именно Алтай считается одним из вторичных цент-



Телецкое озеро

ров видообразования лютиковых, при этом наиболее полиморфны два его рода — акониты (10 видов) и дельфиниумы (семь видов).

Пион уклоняющийся, или марьян корень (*Paeonia anomala*), — единственный во флоре Горного Алтая представитель рода, но довольно распространенное в степном и лесном поясах растение. Корневище этого высокого (до 1 м) многолетнего травянистого растения с огромными (до 30 см) листьями и крупными (до 12 см в диаметре) пурпурно-розовыми цветками используют в медицине. Вообще, как известно, Алтай славится изобилием ценных лекарственных трав. Среди них особо популярны: родиола розовая, или золотой корень (*Rhodiola rosea*), — элемент полярно-арктических и субальпийских областей, бадан толстолистный (*Bergenia crassifolia*) — эдификатор кедровых и лиственных лесов, а также левзея сафлоровидная, или маралий корень (*Rhaponticum carthamoides*), — редкое (помимо Алтая встречается только в Саянах и Кузнецком Алатау) и эндемичное растение.

К слову, на Алтае не так много эндемиков (не более 11.5% от всего видового состава), и это понятно, ведь для развития эндемизма необходима в первую очередь географическая изоляция региона, чего не скажешь о Горном Алтае. Что же касается резких климатических контрастов, то здесь они скорее способствуют видообразованию, и подтверждение тому — разнообразие семейства лютиковых.

На обследование верховий Актуру ушло шесть дней. Работа была столь напряженной, что мы не заметили, как пролетело время. В последний день я пренебрег неписанным правилом — в горы не ходить в одиночку — и ушел к леднику Черной горы. Двухкилометровый путь преодолел без особых сложностей, хотя погода не благоприятствовала: моросил дождь и лежал густой туман. Когда же ненадолго меж белых облаков проглядывало солнце, вокруг открывалась завораживающая панорама гор, ледников и долины реки. С северо-запада видны несколько восхитительных висячих водопадов, которые формируют один из правых притоков р.Актуру. Ледник здесь спускается до





Кедровый лес в окрестностях кордона Абаго и побег кедровой сосны сибирской с шишками.

2860 м, у его кромки — крутой сыпучий склон из щебня. Надежда обнаружить здесь, у самой кромки, представителей пригляциальных растений не оправдалась. В последнее время отступление ледников происходит столь быстро (9 м в год), что образующийся динамичный пригляциальный участок с глубокими щебнистыми моренными отложениями не успевает заселяться растениями. Однако чуть ниже, всего в 100 м от ледника, на наклонной плоскости огромного обломка скалы недалеко от водопада я увидел небольшое (диаметром около 1.5 м) зеленое пятно, образованное зарослями приземистых (до 15 см в высоту) кустарников: бе-

резы круглолистной, ивы нарядной (*S. vestita*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*). Густо переплетенные мхом кустарники стелились по поверхности скалы, цепляясь корнями за мелкие расщелины.

Появление в нивальной зоне с арктическим климатом кустарников — случай, конечно, исключительный, но вполне объяснимый. Защититься от мощного снежного наноса, падающих камней, холодного ветра и т.д. растениям помогает их жизненная форма приземистого, стелющегося кустарника. Мелкие (до 2 см), сверху темно-зеленые и глянцевые, жесткие и довольно толстые листья хорошо приспособлены к нерегу-

лярному снабжению влагой. (В каменистых высокогорьях осадков бывает достаточно, но, выпав на землю, они тут же стекают со скал.) Кроме того, за короткий вегетационный период у растений не успевают развиться генеративные органы; невозможность семенного возобновления здесь компенсируется вегетативным.

Удивляет другое — достаточно устойчивое сосуществование двух видов (березы и ивы) с одинаковыми биоморфами. Каким образом растениям из разных семейств удастся избежать межвидовой конкуренции при ограниченных ресурсах и экстремальных условиях среды? Согласно классической теории конкуренции, это невозможно. По-видимому, в данном случае внешняя среда полностью определила единственную форму существования — экоморфу растений. Адаптируясь к крайне экстремальным условиям, ива и береза стали внешне столь похожими, что, если бы не характерные сережки белых пушистых цветков ивы нарядной, их можно было принять за разные виды березы.

Завершив работы в верховьях Актуру, мы пешком вернулись в Горно-Алтайск, а еще через пару дней прибыли в пос. Иогач (в 60-х годах прошлого





Темнохвойная тайга с господством ели сибирской. Слева — побег ели с шишками.

века — Кедроград), расположенный на берегу второй по величине алтайской реки Бия, вытекающей из Телецкого озера. Здесь в 1959 г. выпускники Ленинградской лесотехнической академии во главе с В.Ф.Парфеновым организовали Горную лесную опытно-производственную станцию, преобразованную впоследствии во Всесоюзный центр разработки рациональных систем использования кедровых лесов и их внедрения в производство, а с начала 90-х годов — в Телецкое опытное лесное хозяйство.

В течение 10 дней мы обследовали районы ущелья рек Иогач и Пыжа, окрестности кордона Абаго и прилегающие горные склоны, северо-западную часть правобережья Телецкого озера; на катере проехали по озеру до водопада Корбу с остановкой у мыса Няскочь.

Гордость и жемчужина Алтайя — Телецкое озеро. Его можно сравнить с кусочком голубого неба, приютившимся меж гор, покрытых кедровой тайгой. Жаль только, что в настоящее время озеро и его окрестности стали популярным местом отдыха и уже сильно пострадали от нашествия туристов; это не может не вызывать серьезного опасения за будущее уникального природного комплекса.



В отличие от других регионов Алтая здесь нет лиственных лесов, но хорошо развиты хвойные (кедровая, черневая и темнохвойная тайга), а по долине Бии тянутся сосновые ленточные боры.

Эдификатором кедровых лесов служит кедровая сосна сибирская — дерево высотой до 40 м и диаметром до 1,8 м, с ценной древесиной, которая используется для строительных, поделочных целей, изготовления музыкальных инструментов и карандашей. В наиболее влажных местах чаще образуются смешанные леса с примесью пихты, нежели чистые кедрячи. Распространение кедровых лесов, а также соотношение чистых и смешан-

ных насаждений во многом зависят от пожаров, ветровалов и способов рубок. Известно, что смолистая и легко воспламеняющаяся кедровая сосна быстрее других древесных пород гибнет от пожара, возобновляется естественным путем она плохо (мы видели это на лесосеках сплошных рубок в бассейнах рек Иогач и Пыжа, в окрестностях кордона Абаго). Мощное развитие высокотравья на таких площадях препятствует появлению подроста кедра. С конца 80-х годов 20-го столетия лесоводы Алтая принимают меры по сохранению и рациональному использованию кедровых лесов (стали проводить выборочные рубки, заложена первая в России

семенная плантация кедр на селекционной основе и т.д.), и все же без участия федеральных властей проблему кедровых лесов не решить.

Темнохвойная тайга распространена не столь широко, на обследованной территории приурочена к верховью Пыжи. Темнохвойная тайга представлена несколькими ярусами. В первом ярусе ель, пихта и кедровая сосна (деревья-эдификаторы) образуют мощный, плотно сомкнутый полог, препятствующий развитию ярусов подлеска (единичным экземплярам жимолости алтайской, шиповников, а также небольшим плохоразвитым деревьям березы и рябины) и напочвенного чрезвычайно бедного травяного покрова. В насаждениях хорошо развиты эпифитные лишайники (в основном из рода *Usnea*), которые длинными белесыми бородами свисают с ветвей ели.

В черневой тайге эдификаторам — пихте и осине — сопутствует береза бородавчатая или кедровая сосна. Под плотным пологом пихтового леса в напочвенном покрове могут развиваться лишь мхи да редкие травы с широкими листьями, позволяющими перехватывать мизерное количество света, и белыми цветами, чтобы их могли заметить опылители. В таком лесу пихта с густой темно-зеленой хвоей выглядит черной, отсюда и возникло название тайги.

Пихта сибирская характеризуется широким ареалом, она может расти и в горах, и на равнине, но только в черневой тайге наиболее благополучна и достигает максимальной для вида высоты. Живет пихта около 200 лет, но в возрасте 120—150 лет

древостой начинает разрушаться естественным путем: зрелые деревья постепенно отмирают, на их месте появляется густой молодняк. Через 30—40 лет, когда выпадет уже много крупных стволов, молодое поколение пихты сомкнется, да так густо, что исчезнут под его пологом всякие травы, и даже мох. А еще через 40—60 лет, когда выпадут последние старые пихты, молодое поколение станет взрослым лесом. Такая, выработанная в процессе эволюции, цикличность развития насаждений черневой тайги — залог ее вечного процветания. И хозяйство в этих лесах необходимо вести с учетом особенности развития этих лесов.

Возвращаясь из Прителецкого района в Горно-Алтайск по долине Бии, мы чуть подробнее обследовали некоторые участки соснового бора. В этих насаждениях древостои зачастую 1-го класса бонитета, с ровными высокоствольными (до 30 м) деревьями, с узкой небольшой верхушечной кроной и сизой хвоей. Встречаются чистые сосновые боры с травянистым напочвенным покровом и хорошо развитым подлеском из таволги средней, караганы кустарниковой и маральника. По террасам реки, в более увлажненных биотопах, развиваются сосняки с примесью пихты, кедровой сосны и березы. В подлеске, кроме уже названных видов, встречаются черемуха и калина. В травяном покрове появляются мезофиты, характерные для пихтовых лесов: папоротники (*Athyrium filix femina*, *Struthiopteris filicastrum*) и крупные зонтичные — дягель (*Archangelica decurens*), дудник (*Angelica sylvestris*) и др.

К сожалению, на том нам пришлось завершить работу и вернуться в Горно-Алтайск, поскольку отведенное на экспедицию время подошло к концу.

\* \* \*

Безусловно, за столь короткий срок экспедиции невозможно было достаточно полно охарактеризовать флористический комплекс Горного Алтая, да этого и не требовалось. Здесь трудились более века и работают в наши дни выдающиеся ботаники, результаты исследований которых опубликованы в специальных изданиях, при этом остается еще немало нерешенных проблем. Так, все еще нет полной инвентаризации редких, исчезающих видов растений, недостаточно изучены генезис, история формирования и география коренных лесных экосистем; необходимо разработать рекомендации по оптимальному использованию лесных экосистем и флористического разнообразия Горного Алтая и прилегающих к нему регионов, не говоря уж о практических вопросах, касающихся заповедования остатков девственных растительных экосистем. Все эти проблемы ждут своих исследователей.

Если же мне удалось заразить читателя беспокойством за будущее этого уникального по красоте и богатству растительного мира природного комплекса, я считаю свою задачу выполненной. Пусть эта статья будет воспринята как дань любви к чудесному краю. ■

От имени всех участников экспедиции я выражаю признательность за помощь и содействие С.И.Матвееву, М.А.Терехову, В.И.Карпинскому и П.Ю.Малкову.



# Необычное древнее сооружение в излучине Дона

В.А.Демкин,

*доктор биологических наук*

Т.В.Алексеева, А.О.Алексеев,

*кандидаты биологических наук*

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН  
г.Пущино*

А.С.Скрипкин,

*доктор исторических наук*

*Волгоградский государственный университет*

Наряду с хорошо известными археологическими памятниками степной полосы Евразии — курганами, поселениями, городищами — исследователи иногда сталкиваются с объектами, о назначении которых приходится только догадываться. Один из них находится в излучине Дона, на юго-восточной оконечности Среднерусской возвышенности. Внешне похожее на курган, сооружение в 7 км к северу от станции Трехостровской содержит совершенно иную «начинку» и поражает своими циклопическими размерами.

Это полусферическая грунтовая насыпь с включениями обломков известняка, окруженная рвом глубиной около 2 м и шириной от 24 до 32 м. Диаметр памятника по внешним краям рва — 200 м, а высота — всего 2 м. На участке, прилегающем с запада, обнаружены четыре площадки с мелкими обломками известняка на поверхности и в пахотном слое, а в 200—300 м к северо-востоку находится участок со скоплением крем-

ня. Эти материалы принесены древними строителями из овражных обнажений за несколько километров от сооружения. В его центральной части — большая воронка глубиной до 2 м, диаметром 20—30 м — это следы грабительских раскопок начала прошлого века. Под названием «городище» памятник давно известен местным жителям. По свидетельствам краеведов начала прошлого века, некий П.М.Авдеев при рытье клада вывез отсюда несколько возов древесного угля.

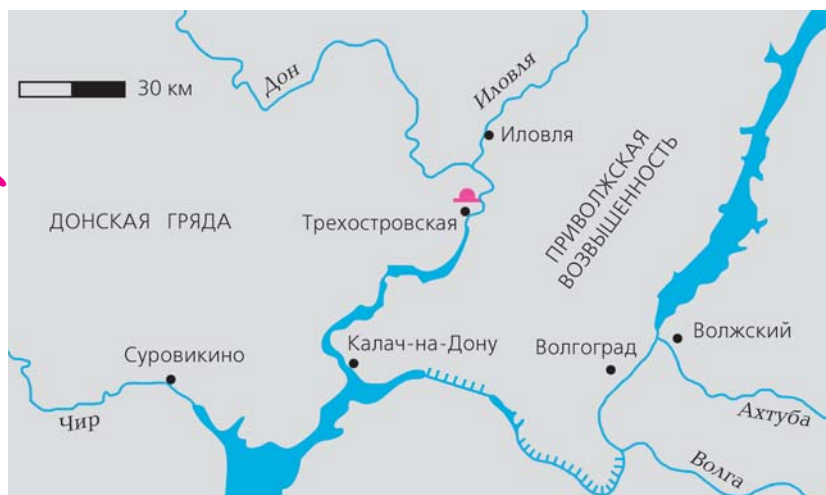
Первые разведочные раскопки волгоградские археологи провели здесь в 1997—1998 гг. [1]. Тогда же нами было высказано предположение, что сооружение служило святилищем, своего рода храмом огня. В пользу этой версии прежде всего свидетельствовали многочисленные его следы в центральной части сооружения: древесный уголь, обожженный грунт, шлаки. К этой мысли нас склоняло и местоположение памятника, явно выбранное древними людьми не случайно. Он располагается на правом берегу Дона на вершине плоского ме-

жовражного водораздела (абс. высота 120 м). К западу находятся три столовых, более высоких горы (200—250 м) с платообразными овальными вершинами, полукольцом окружающие хорошо видимую со всех сторон возвышенность с памятником. На левобережье Дона, в полосе 15—20 км, отметки не превышают 70 м.

Однако других находок, подтверждающих назначение нашего сооружения близ станции Трехостровской, обнаружено не было — ни костей животных, ни фрагментов керамики, обычных для раскопок на святилищах.

С 1999 г. Трехостровский феномен исследует комплексная почвенно-археологическая экспедиция Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН и Волгоградского государственного университета. Наши основные задачи — реконструкция природных условий времени возникновения и функционирования памятника [2]; изучение его стратиграфии, определение вещественного состава и мест происхождения грунтового ма-

© В.А.Демкин, Т.В.Алексеева,  
А.О.Алексеев, А.С.Скрипкин



Расположение Трехротовского святилища в излучине Дона.

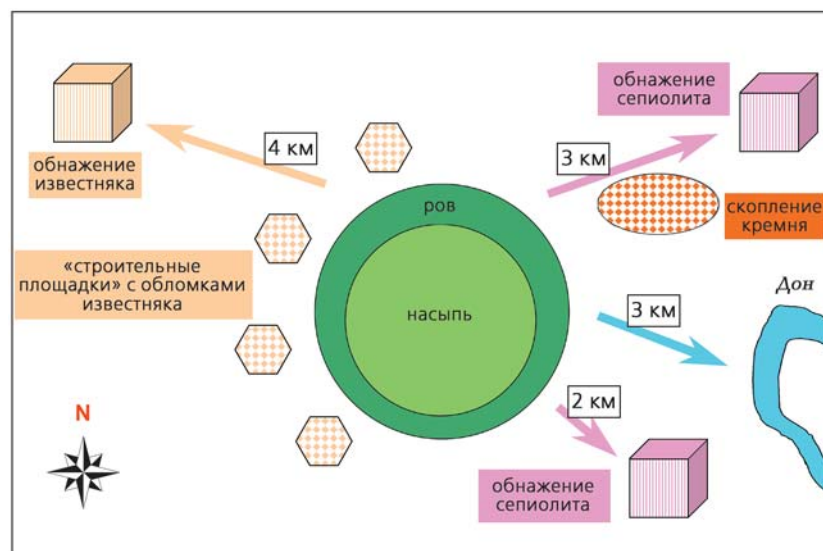


Схема памятника и источников получения материалов, из которых он построен.

териала и горных пород, использованных при строительстве; выяснение технологии создания и назначения памятника.

Из-за отсутствия артефактов нельзя пока уверенно говорить о его культурной принадлежности. Однако радиоуглеродное датирование нескольких образцов древесного угля показало, что их возраст  $3200 \pm 100$  и  $3230 \pm 60$  лет (Институт географии РАН, Россия) или  $3135 \pm 42$  года (Университет Аризона, США). Следовательно, можно полагать, что время создания

и функционирования памятника относится примерно к рубежу XIII и XII вв. до н.э., т.е. к эпохе поздней бронзы.

### Почвы и строительный материал сооружения

Анализ свойств древней почвы, погребенной под насыпной толщей в краевой части Трехротовского сооружения, не подверженной воздействию огня, показал, что во время создания и функционирования памятника

ка на месте современных каштановых почв были развиты почвы более северного облика — темно-каштановые. Следовательно, на рубеже XIII—XII вв. до н.э. на территории Донской гряды природные условия отличались большей комфортностью, чем в настоящее время. Прежде всего это выражалось в повышенной атмосферной увлажненности (в среднем осадков выпадало на 50—70 мм/год больше, чем ныне), лучшем качестве земельных угодий, более высокой продуктивности травяной растительности. Вместе с тем в этих почвах уже появились признаки засоления, что свидетельствует о наступлении засушливого климата. Следует сказать, что аридная эпоха в конце 2 — начале 1-го тысячелетия до н.э. зафиксирована и в ряде других регионов степного пояса Евразии. Поэтому не случайно уже в XII в. до н.э. в южнорусских степях начинают исчезать памятники эпохи финальной бронзы. Древнее население покинуло места традиционного проживания и мигрировало в другие природные районы. Очередной этап активного заселения европейских степей начался лишь в VII в. до н.э. и был связан с появлением кочевых племен (номадов) раннежелезного века. Причины столь кардинальных изменений этнополитической ситуации и хозяйственной деятельности древнего населения окончательно не ясны. Тем не менее не вызывает сомнений, что природные условия в этих процессах играли далеко не последнюю роль.

За четыре года исследований нашей экспедиции на сооружении было заложено несколько разведочных раскопов (траншей). Самый большой из них (ширина 2 м, глубина 2—3 м, длина более 80 м) прорезал ров и насыпь святилища с западной стороны к его центру. Стратиграфические наблюдения показали, что верхняя половина насыпной толщи сложена зеленой супесью, нижняя — белесовато-

желтой ее смесью с суглинком. На поверхности насыпи уложены глыбы известняка белого цвета, в составе которого абсолютно преобладает кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ). Супесчано-суглинистая толща равномерно перемешана со щебнем известняка. В крайней части под насыпью сохранилась древняя темно-каштановая почва. Такая же стратиграфия насыпи характерна и для периферийной восточной части святилища. На всем протяжении исследованной здесь траншеи (около 15 м) погребенная почва искусственно нарушена. Особенности ее строения свидетельствуют о том, что в процессе создания в крайней части памятника были сооружены ступени, поверхностями которых в направлении от рва последовательно оказались различные почвенные горизонты.

Для минералогического анализа из центральной части святилища взяты породы разного цвета. Белый образец представляет собой известняк, на 98% состоящий из кальцита. Обломки этой породы встречаются в насыпной толще и на ее поверхности. (Обнажение известняка располагается в 4 км от сооружения.) В центральной части сооружения встречается также гашеная известь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , продукт термического преобразования кальцита (при температуре свыше  $950^\circ\text{C}$ ) в оксид кальция и его последующего взаимодействия с водой [3]. Здесь попадают и  $\text{CaCO}_3$ , и  $\text{CaO}$ , что свидетельствует о неодинаковом термическом воздействии на исходную массу известняка.

Цветные образцы — продукты термического преобразования глинистого минерала, идентичного отобранному в 3 км от памятника в овраге Хлебном. Это — сепиолит  $\text{Mg}_4[(\text{OH}_2)\text{Si}_6\text{O}_{15}]2\text{H}_2\text{O}$ , который, подобно асбесту, обладает термоизолирующими свойствами. В зеленоватой стекловидной массе в небольших количествах присутствует также энстатит, продукт высокотемпературного

(более  $850^\circ\text{C}$ ) преобразования сепиолита. Во всех образцах встречаются следы гематита, который формируется из гидроксидов железа при температуре выше  $300^\circ\text{C}$ .

Еще одна группа образцов со следами термического воздействия — суглинок, из которого изготавливались блоки для сооружения очага. Изменчивость их окраски от желтой до красной связана со степенью их обжига в зависимости от удаленности от очага.

Таким образом, преобладающие минералы среди исследованных — кальцит и сепиолит, а соединения железа в них содержатся лишь в качестве изоморфной примеси в весьма небольшом количестве, характерном для осадочных почвообразующих пород. Следовательно, наш памятник не мог использоваться древними металлургами для выплавки металлов. Наличие во всех образцах кальцита свидетельствует о том, что они не подвергались термическому воздействию выше  $940^\circ\text{C}$ .

Кроме рассмотренных минеральных образований в траншее обнаружены так называемые гумусовые блоки. Они имеют форму довольно правильных параллелепипедов и представляют собой равномерно перемешанную черную массу, состоящую из древнего гумусового горизонта и толченого древесного угля.

В центре памятника, на контакте очага с суглинистыми блоками, мы заложили шурф. Оказалось, что слой 0—250 см представляет собой белую известняковую толщу, состоящую из обломков породы и пудрообразной массы. Здесь также присутствуют обугленные остатки стволов и веток деревьев, обломки сепиолита разных оттенков. В интервале 250—290 см залегает прослой древесного угля с примесью прокаленного известняка и сепиолита. Гумусовый и карбонатный горизонты древней почвы отсутствуют, они были сняты в процессе создания памятника. С глубины около 300 см залегает

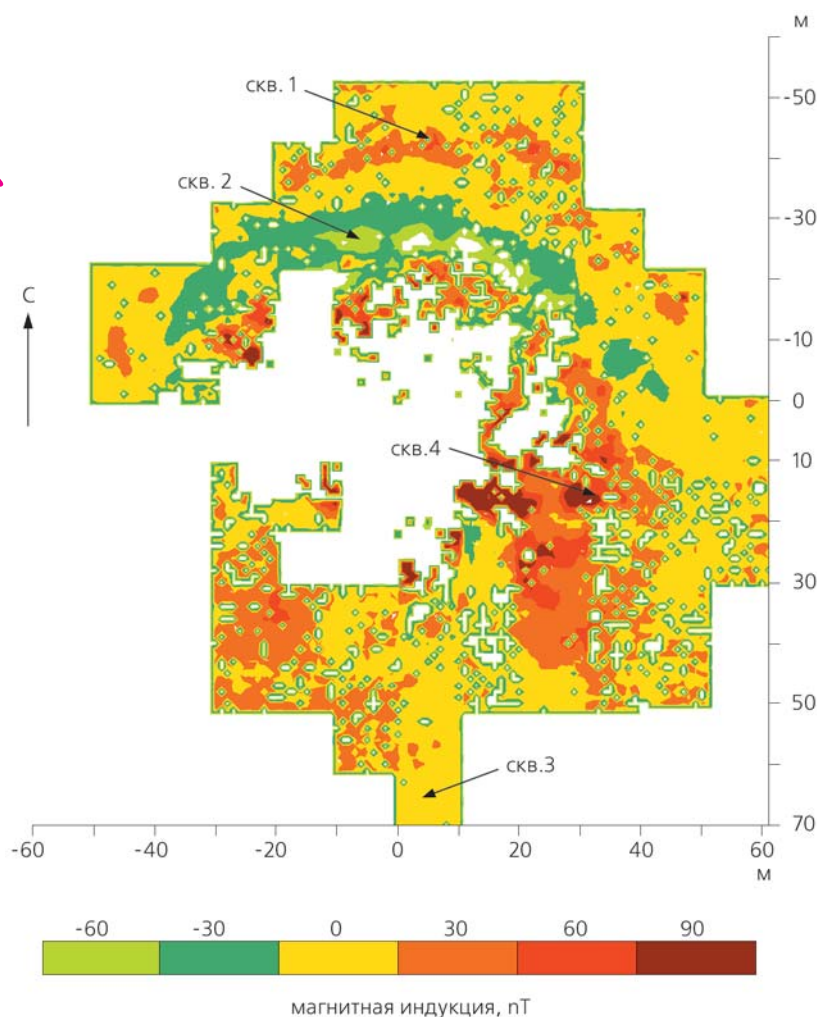
обожженная почвообразующая суглинистая порода. На ее поверхности уложен слой крупных обломков сепиолита мощностью 15—20 см, которые, вероятно, играли роль поддувала и обеспечивали проток воздуха в нижней части очага.

Весьма примечательна стратиграфия рва. Его исходная глубина в центральной части составляла почти 4 м, что фиксируется уровнем нижней погребенной почвы, маломощный гумусовый горизонт которой встречается фрагментарно, что свидетельствует о кратковременности его формирования (не более 10—15 лет). Затем, скорее всего уже в процессе функционирования памятника, почвообразование неоднократно сменялось делювиальным осадконакоплением, что подтверждается существованием еще двух погребенных почв, перекрытых суглинистым осадочным материалом. В настоящее время на днище рва развита луговая почва с мощным дерновым горизонтом и высоким содержанием гумуса, что свидетельствует о весьма продолжительном времени формирования данной почвы (2500—3000 лет).

С помощью прибора, регистрирующего изменения магнитной индукции, обследовано 80 микроплощадок общей площадью  $8000\text{ м}^2$ , что составляет около 50% площади памятника. Компьютерная обработка данных позволила составить карту магнитных аномалий, отражающую внутреннюю структуру памятника, и наметить участки для его детального изучения с использованием традиционных методов. Самые высокие значения магнитной аномалии фиксируют участок с «печью» и прилегающей к ней зоной, подверженной высокотемпературному воздействию.

Мы заложили несколько скважин, приуроченных к ареалам различных магнитных аномалий. В местах, где зафиксированы наиболее высокие показатели, насыпная толща сложена





Результаты магнитной съемки памятника и местоположения скважин.

сильно обожженным суглинком и разноцветными шлаками сепиолита. Периферийная часть насыпи представляет собой слой зеленой супеси, не подверженной воздействию огня.

### Как создавали памятник

Полевые и лабораторные исследования почв, грунтов, органических и минеральных образований на территории археологического памятника и за его пределами позволяют предположить, как он был построен.

Вначале был снят гумусовый горизонт в форме круга с радиу-

сом примерно 50 м. В результате образовался своего рода котлован, дном которого в направлении от края к центру стали почвенные горизонты. Глубина искусственного углубления в периферийной части составляла 20–30 см, а к центру понижалась до 60–70 см. Извлеченные дернина и гумусовый материал укладывались на ненарушенную поверхность шириной 10–15 м, находящуюся в западном секторе между «котлованом» и будущим краем рва. Затем начался процесс рытья рва с целью получения материала для изготовления суглинистых блоков. Суглинок смешивался с водой до однородной массы, помещался в кирпи-

чеобразные формы из веток, следы которых сохранились на поверхности изделий, и высушивался на солнце. В центральной части котлована из блоков была сооружена внешняя стена «печи» диаметром более 40 м. Кладка имела в ширину несколько метров и вентиляционные отверстия, способствующие процессу горения. На дне «печи» были уложены глыбы сепиолита, на них — стволы и ветви деревьев, а с внутренней части стены (вероятно, в качестве термоизолятора) помещались измельченные обломки сепиолита.

Этот материал доставлялся из обнажений в оврагах Хлебном и Качалинском, расположенных в 2–3 км к востоку от памятника. Оставшаяся свободной внутренняя часть конструкции была засыпана мелко дробленным известняком, источником которого послужили обнажения, расположенные в 4–5 км к северо-западу в долине Дона. После этого дерево поджигалось. Учитывая конструктивные особенности «печи» и наличие карбонатов, выделяющих значительное количество углекислого газа, процесс горения (а фактически тления) дерева мог продолжаться весьма длительное время, причем при высокой температуре. Контактующий с очагом известняк испытывал термическое воздействие около 950°C. Сепиолитная прослойка подвергалась обжигу от 850–870°C и ниже (примерно до 500–600°C), а в зоне нахождения суглинистых блоков температура составляла 300–500°C. Таким образом, можно полагать, что сооружение представляло собой дымящийся красно-оранжево-желтый холм с белым жерлом, находящийся в котловане с желто-бурой поверхностью, на которой в 20–25 м от «печи» была сложена конструкция из черных гумусовых блоков. Для их изготовления использовался ранее «забуртованный» гумусовый материал, который смешивался с древесным углем, полученным из специально разведенных поблизости кострищ.





Современный вид Трехостровского памятника.  
На дальнем плане — одна из столовых гор.  
Здесь и далее фото В.А.Демкина

Разрез насыпи и погребенной почвы. В верхней части — обломки известняка.



Цветные образцы (суглинок, сепиолит) и известняк.



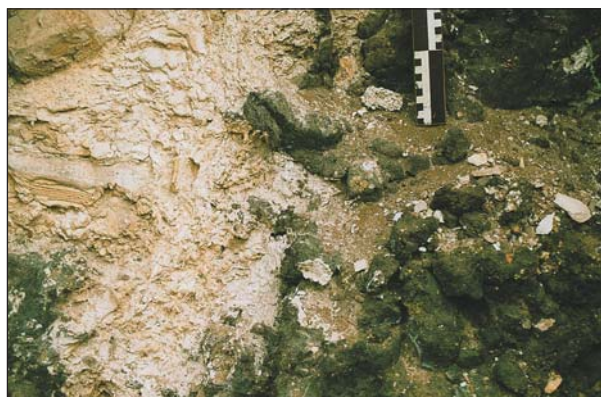




Раскопки рва и краевой части памятника (восточная часть).

Раскопочная траншея в западной половине.

Прокаленный сепиолит (черный) и гашеная известь (белая) в очаге.



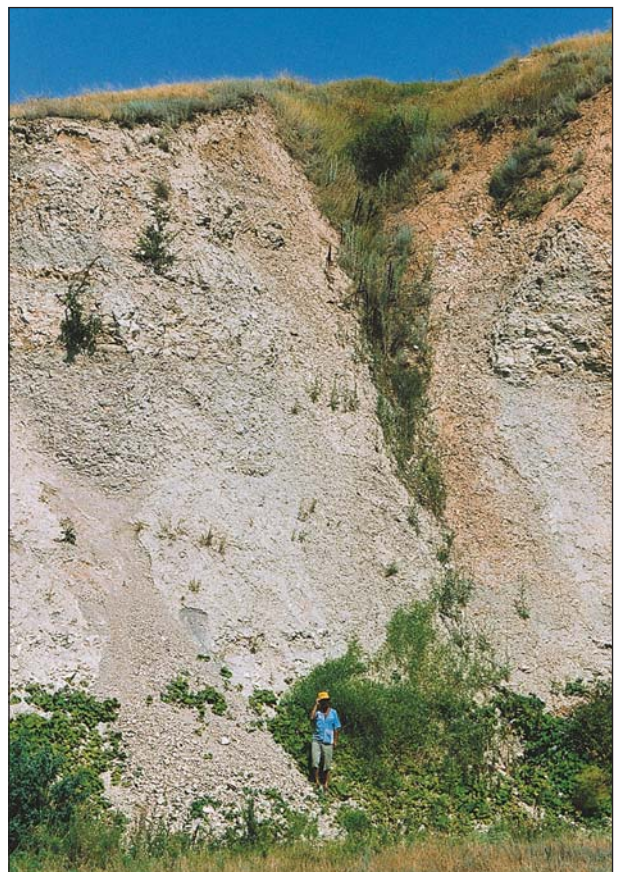




Пласты известняка в долине Дона. Вид со столовой горы.

В овраге Хлебном. Обнажение сепиолита.

Сепиолит, преобразованный при термическом воздействии в стекловидную зеленую массу со следами энстатита.



Следующая операция заключалась в дальнейшем углублении рва с целью добычи зеленой супеси, подстилающей ранее используемый для формовки блоков суглинок. Супесчаный материал относился за пределы внешнего края рва, где затем перемешивался с обломками известняка на «строительных площадках». Расчеты показали, что объем грунта, извлеченного из рва, составлял более 45 тыс. м<sup>3</sup>, а насыпи, состоящей из супеси, суглинка и известняка, — 25 тыс. м<sup>3</sup>. Столь существенные расхождения, несомненно, свидетельствуют в пользу того, что насыпной материал заготавливался заранее и использовался лишь в необходимом объеме.

По прошествии некоторого времени суглинистая стена «печи» была частично разобрана. Полученным прокаленным материалом яркой оранжево-красной окраски засыпался котлован до уровня ненарушенной древней поверхности. В итоге сформировалась целая серия кольцевых разноцветных зон: перекрытый белым известняком очаг в центре, затем оранжево-красный суглинок, сменявшийся черными гумусовыми блоками, потом вновь оранжево-красный суглинок, а затем черный перемещенный гумусовый слой, лежащий на поверхности древней почвы. Все перечисленные строительные мероприятия заняли весьма продолжительный период времени, на наш взгляд, несколько десятков лет. Заключительная стадия работ по со-

зданию памятника (а может быть, и его «консервации») состояла в сооружении насыпи из ранее приготовленной смеси супеси и мелких обломков известняка, на поверхности которой затем были уложены известковые глыбы и крупные обломки. В итоге святилище приобрело современный вид — белый холм, окруженный кольцевым рвом. Интересно отметить, что на перекрытие насыпи было использовано более 12 тыс. тонн известняка (~200 товарных вагонов!).

\* \* \*

Сознавая, что до получения артефактов наши соображения носят гипотетический характер, мы все же полагаем, что сооружение у станицы Трехостровской имело важное ритуальное значение для большого коллектива людей — племени или даже племенного объединения. Об этом свидетельствуют его огромные размеры и большой труд, затраченный на его возведение. В эпоху поздней бронзы, т.е. во время, которым можно датировать святилище, волгодонские степи были достаточно плотно заселены, что подтверждается большим количеством обнаруженных здесь древних погребальных и бытовых памятников. Вокруг самого сооружения в радиусе примерно 5 км, на упомянутых столовых горах, располагается несколько курганных могильников, в овраге Хлебном нами обнаружены поселения срубной культуры, видимо, того же времени, что

и святилище. Думается, что неординарность Трехостровского памятника (других таких нигде поблизости и в отдалении пока не обнаружено) проистекает из того, что излучина Дона воспринималась древними людьми как центр освоенной и принадлежащей им территории. По нашему мнению, эта мысль подтверждается и конструкцией сооружения и его «возвышенным» положением. Традиция придавать святилищам форму круга, окаймленного рвом, известна — знаменитые Стоунхендж и Эйвбери в Англии, святилища кельтов, германцев и ранних славян (обнаружены в Польше, Чехии, Белоруссии, в западной части России, в некоторых районах Азии). Считают, что таким образом отделяли сакральное пространство внутри рва от остального мира. Кроме того, в памятнике, на наш взгляд, отражены и некоторые элементы мировоззрения древних индоиранцев, к которым могло относиться население, построившее необычное сооружение в излучине Дона. Этим летом мы продолжим работу недалеко от станицы Трехостровской, и, возможно, эта страница древней истории будет, наконец, прочитана до конца. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №№01-04-48531 и 03-04-48135) и Российского гуманитарного научного фонда (проект №01-01-00389).**

## Литература

1. Скрипкин А.С., Дьяченко А.Н., Клепиков В.М. и др. Предварительные итоги археологических исследований в Волгоградском Задонье в 1997 г. // Нижневолжск. археол. вестн. Волгоград, 1998. Вып.1. С.125—128.
2. Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении истории природы и общества. Пушкино, 1997.
3. Порох А.Н. Некоторые данные к определению назначения сооружения у хут.Хлебного // Нижневолжск. археол. вестн. Волгоград, 1998. Вып.1. С.129—131.



# Тункинский рифт

Г.Ф.Уфимцев,

*доктор геолого-минералогических наук*

А.А.Щетников,

*кандидат геолого-минералогических наук*

*Институт земной коры СО РАН*

*Иркутск*

При упоминании о Байкальской рифтовой зоне возникают ассоциации с озером, давшим ей название и занимающим котловину крупнейшего грабена — тектонического погружения, ограниченно-го разломами. И по большим размерам, и по заполнению водной массой Байкальский рифт отличается от соседних сухопутных впадин. Именно они перехватывают большую часть текущих к Байкалу рек. Лишь дельта р.Селенги (включая подводную часть — авандельту) пересекает все днище грабена, упирается в западный борт, разделяя подводной возвышенностью южную и среднюю котловины озера.

Разнообразная информация о Байкале обычна на страницах «Природы», и он оставляет в своеобразной тени другие рядом с ним расположенные рифты, так называемые впадины байкальского типа. Красота их ландшафтов соседствует с многочисленными геологическими памятниками, что делает такие формы молодой тектоники научными полигонами для решения различных проблем географии и геологии. Один из них — Тункинский рифт, протянув-



Тункинская долина и Тункинские гольцы к северу от нее.

Здесь и далее фото авторов





Тектонические ступени северной части Мондинской впадины и Тункинские гольцы над ними.

Валун из верхнеплиоценовых отложений, окатанный в зоне молодого разлома северного борта Туранской впадины. Поверхность валуна представляет собой зеркало скольжения.

шийся с юго-западной оконечности Байкала на запад на 200 км. Он то расширяется более чем до 30 км, то сужается до нескольких километров. Это тектоническое понижение рельефа представляет собой чередование межгорных впадин, заполненных кайнозойскими отложениями мощностью более 2.5 км. С востока их открывает Быстринская, затем следуют Торская и Тункинская, Туранская и Хой-

тогельская, разделенные низкорными грядами, и, наконец, на западе ряд замыкает Мондинская. Как в больших, так и в малых впадинах залегают отложения практически разновозрастные, начиная с олигоцен-миоценовых (более 25 млн лет) и до современных. Междувпадинные перемычки представлены двумя видами: косо ориентированными блоками, наклоненными на запад, с востока ограниченными

сбросовыми уступами — Еловским и Ниловским отрогами, и сложными сочетаниями горстов и поднятых тектонических ступеней.

При путешествии в Тунку из Иркутска мы пересекаем Олхинское плоскогорье, в вершинном поясе которого видны остатки древнего рельефа — мел-палеогенового пенеплена со скальными останцами. Долины рек врезаны в древнюю равнину на глу-

бину до 500 м. Но главное впереди. Днище Тункинского рифта как бы подвешено, и в крайней своей восточной части оно на 150 м возвышается над Байкалом. Общий перепад высот здесь составляет почти 1000 м на всей его 200-километровой протяженности. Обычно днища таких структур имеют небольшой перепад высот или заполнены озерами.

Один из главных элементов структуры рифта — высокий уступ, ограничивающий его с севера, созданный одноименным сбросом. Этот сброс считается тектонотипом разломов, ограничивающих рифтовые долины. Общий перепад высот рельефа в его зоне составляет около 2000 м (и еще не менее 500 м подземной части). Такова минимальная амплитуда молодых вертикальных перемещений на северном борту, создавших крутой и монолитный фронт гор.

Южный борт рифта образован боковыми гребнями хребта Хамар-Дабан, бронированными неогеновыми базальтами, которые полого понижаются на север и погружаются под молодые отложения днищ впадин.

Особо примечателен молодой разлом на северном борту Туранской впадины, отделяющий ее от продольной гряды Ниловского отрога. Здесь сместители зоны молодого сброса рассекают неогеновые базальты (около 5 млн лет по К/Аг-методу), валунники и склоновые отложения. Любопытно, что гальки и валуны базальтов, вообще хорошо окатанные, в зоне молодого разлома были дополнительно окатаны. Их поверхность представляет собой сплошные зеркала скольжения\*. Скорее всего они выполняют роль тектонических будин.

В центральной части Тункинской впадины, над ее днищем, на 150 м возвышается округлый массив Бадар, сложенный верхнеплейстоценовыми

\* Гладкая поверхность пород, отполированная трением блоков, перемещающихся вдоль разрывного нарушения.



Вулкан Хурай-Хобок одиноко стоит на равнине вблизи южного склона Тункинских гольцов.

песками возрастом около 60 тыс. лет. Он — результат тектонической инверсии днища рифта. При этом купол не имеет под собой фундамента и представляет собой интересный случай бескорневых неотектонических форм. По поводу происхождения Бадарского массива существуют различные мнения. Например, что он образовался при поднятии поверхности, когда сформировалась линза многолетнемерзлых пород, или при соскальзывании вулканогенно-осадочного чехла по наклонным скатам фундамента, или возникновении центрального вздутия.

В Тункинской впадине располагаются вулканы — шлаковые конусы высотой до 120 м. Самый эффектный — Хурай-Хобок с хорошо сохранившимся кратером. Вулканы постепенно засыпаются молодыми осадками (возрастом около 50 тыс. лет по радиотермомюминисцентному методу). Вулкан Кунтен, на окраине современных Коймарских болот, возвышается всего на 6 м. На южной окраине с.Хурай-Хобок один из небольших конусов вскрыт карьером, на стенках которого обнажаются базальты

жерловой фации и сварные шлаки с лепешковидными вулканическими бомбами размером до 1 м.

Уступ Тункинского сброса на северном борту рифта представляет богатые возможности для изучения проблемы иерархической структуры рельефа вообще и тектонического рельефа, в частности. Мы наблюдаем здесь различные виды крутых треугольных и трапециевидных тектогенных граней-фасет. Базальные фасеты формируют нижнюю часть склона хребтов. Другие (вершинные) — окончания междуречных гребней, третьи ограничивают верховья небольших долин, разделяющих базальные фасеты. Комбинации этих форм создают большие фасеты, которые рассекаются лишь крутыми короткими долинами и группируются в секции сбросового уступа. Группирование (деление) форм тектонического рельефа практически везде кратно трем: три структуроформирующих элемента уровня организации  $n$  создают целостную форму уровня  $n+1$ . Изучение тектонического рельефа различных районов Внутренней Азии показало, что шаг группи-





Сварные шлаки и базальты жерловой фации одного из вулканов Талаинской группы.



Вулканическая бомба в сварных шлаках.

рования (деления), кратный трем, в иерархической структуре имеет, видимо, фундаментальное значение. Тункинский рифт в этом отношении — яркий и показательный пример.

Днища его впадин сложены в основном рыхлыми отложениями верхнего плейстоцена и голоцена. Среди них выделяются три литологических комплекса: песчаный, валунно-галечный и покровный. Наиболее древние четвертичные отложе-

ния (до 150 тыс. лет по радиотермолюминисцентному методу) обнажаются в пределах инверсионно поднятых ступеней междувпадинных перемычек. Некоторые особенности четвертичных отложений оказываются важнейшими для понимания молодой геодинамики Тункинского рифта.

Первая заключается в том, что в долинах, пересекающих поднятые блоки таких перемычек, наблюдаются серии над-

пойменных террас, сложенных валунно-галечными отложениями. Нижняя — цокольная. Ее основание образовано кристаллическими породами. В таких случаях геолог делает обычный вывод: нижняя терраса и слагающие осадки — молодые, а верхние и их осадки — более древние. В Тункинском рифте мы обнаруживаем другую картину. В поднятой ступени между Туранской и Мондинской впадинами валунные галечники, залегающие на цоколе первой надпойменной террасы, имеют возраст 100 тыс. лет (по радиотермолюминисцентному методу). А возраст ледниковых или мореноподобных отложений самой верхней террасы — 70 тыс. лет. Следовательно, речные террасы сформированы в единой валунно-глыбовой толще, заполняющей древний эрозионный врез. Они указывают на постепенное врезание русла Иркуты в более древние породы долины. Таким образом, нижние террасы — самые молодые формы рельефа — сложены наиболее древними отложениями и, наоборот, более ранние верхние террасы сложены молодыми осадками. Это говорит о том, что в общем спектре молодых тектонических движений (при безусловном господстве погружений днищ впадин) имеется колебательная составляющая, лучше всего выраженная в междувпадинных перемычках. Размах колебательных движений составляет более 100—120 м.

Другую особенность рыхлых отложений, точнее песчаных толщ, можно назвать «ложным другим геодинамиста». Дело заключается в следующем. Например, в верхней части разреза в районе Кыренского аэропорта, на южной окраине Тункинской впадины, в песках возрастом около 30 тыс. лет, обнаруживается (неожиданно для наблюдателя) слоистость (внутрислоевая слоистость) под углом до 15—20°. Складки в молодых отложениях? При этом замечается, что наклонная слоистость



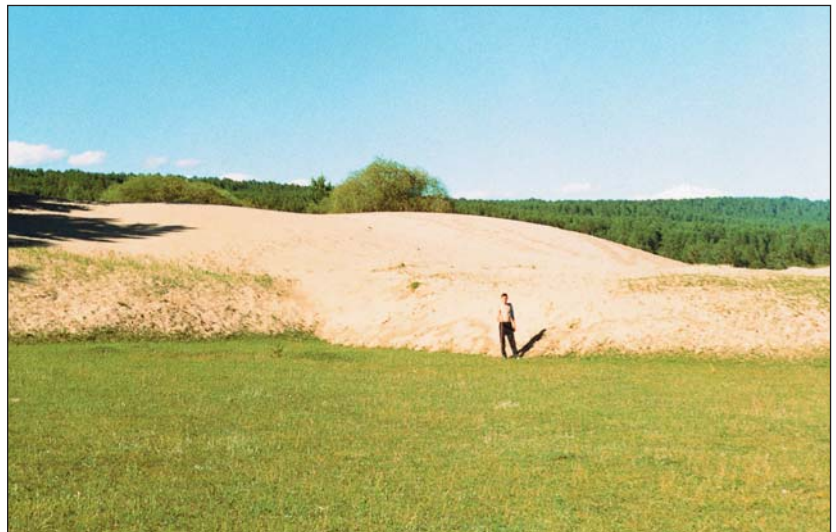
заклучена в горизонтально залегающих отложениях, перемежающихся с гравелистыми песками с косою слоистостью руслового типа. В чем же дело? Мощные косослойчатые пласты представляют собой особый тип пойменных отложений. Отдельные паводковые слойки-ритмы последовательно облекают пологий откос внутренней части речной излучины вслед за ее боковым смещением. Такое явление один из авторов наблюдал на берегах рек бассейна Верхней Камы — Колвы и Вишерки. При последующем эрозионном прорезании пачки аллювия с такой слоистостью можно наблюдать ложные складчатые формы и делать ложные геодинамические выводы.

Еще одна особенность рыхлого покрова Тункинского рифта — широкое распространение эоловых образований. В восточной части Хойтогольской впадины, на поверхности 12-метровой террасы р.Ихэ-Ухгуни (верхняя часть которой образована 29 тыс. лет назад), на 150 м возвышается песчаная гора Хайрхан. Это гигантская дюна, сформированная в конце позднего плейстоцена — начале голоцена (14—9 тыс. лет назад). Поверхность ее и сейчас интенсивно перерабатывается сильными ветрами. В основании горы залегает тонкий слой валунов — горизонт ветрогранников, служащих хорошими индикаторами действия ветровых процессов.

Древние эоловые бугристо-западинные ландшафты микро-рельефа наблюдаются под пологом сосновых боров на песчаной возвышенности Бадар и западных склонах отрогов. Очаги проявления современных эоловых процессов можно наблюдать в центральной части Тункинской впадины, где развеванию подвергаются песчаные поверхности низких террас р.Иркут. Примечательно то, что, по метеорологическим данным, в долине господствуют восточные ветры, а перемещение со-



Бугристо-западинные ландшафты в западной части Мондинской впадины.



Современная эоловая гряда в Тункинской впадине.

временных эоловых гряд происходит во встречном направлении. Здесь мы видим своеобразное противостояние между господствующими и рельефоформирующими ветрами.

Если эоловые пески распространены преимущественно в днищах межгорных впадин и на западных склонах между-впадинных перемычек-отрогов, то в основании пологого склона хребта Хамар-Дабан (южного обрамления Тункинского риф-

та) плащеобразно залегает толща лессовидных супесей мощностью более 6 м. Эти образования сопряжены со склоновыми отложениями.

В Тункинской долине можно изучать роль эоловых процессов в формировании рельефа и осадконакоплении в горно-таежных и лесостепных ландшафтах Сибири. Пока же мы явно недооцениваем значение этого фактора в функционировании природной среды на протяжении позд-





Иркут на выходе из Тункинского рифта. Узкая antecedентная долина прорезает наклонно поднятую глыбу Олхинского плоскогорья.

Невысокие живописные водопады часто образуются при пересечении реками зоны Тункинского сброса.

него плейстоцена и голоцена (последние 120—100 тыс. лет геологической истории). Другой фактор — периодическое существование крупных озер в днищах рифтов Восточной Сибири — напротив, явно переоценивается.

В песчаном комплексе Тункинской долины, составляющем основную часть четвертичных отложений, преобладают речные наносы, в которых много-

численны находки ископаемых наземных и околководных моллюсков. Осадков же озерного происхождения или озерных террас здесь практически нет. Кроме того, почти 1000-метровый перепад высот днища Тункинского рифта делает его неудобным для формирования обширного озера. В таких условиях возможно лишь образование эфемерных водоемов при перегораживании узких antecedент-

ных (возникающих ранее прорезаемых ими возвышенностей) долин.

Коль скоро мы упомянули об antecedентных долинах, следует продолжить эту тему, с которой напрямую связаны интересные палеогеографические реконструкции. Иркут вытекает из ледникового оз.Ильчир, расположенного на высоте более 1900 м в обширном трого. Затем долина сужается и прорезает

окраину Окинского плоскогорья. Стенки ущелья высотой до 700 м очень живописны: из устьев ледниковых каров и трогов в сторону Иркута летят водопады небольших речек. Затем долина резко изменяет свое направление на восток, расширяется, разделяет горные массивы Мунку-Сардык и Тункинские гольцы и, наконец, открывается в малую Мондинскую впадину. В юго-западном углу последней распространен характерный для основной морены бугристо-западинный микрорельеф, сложенный валунно-глыбовыми галечниками верхнего плейстоцена (75 тыс. лет). Но любопытно, что выше долина Иркута (откуда мог выходить позднеплейстоценовый ледник) начисто лишена черт ледникового трога.

Второй antecedentный участок начинается ниже Мондинской впадины, где река прорезает поднятую междувпадинную ступень. Далее Иркут прорезает Ниловский и Еловский отроги и поднятую ступень между Торской и Быстринской впадинами. Войдя в последнюю, Иркут резко меняет направление и, не доходя 20 км до Байкала, покидает пределы Тункинского рифта через наклонно поднятую глыбу Олхинского плоскогорья. Здесь, на пересечении зоны Главного Саянского разлома, он образует крупную излучину, так называемую Зыркузунскую петлю, в пределах которой борта долины высотой более 600 м круты и обрываются прямо в русло.

Зыркузунская петля, резкий уход Иркута на север (вместо того чтобы следовать на восток, к Байкалу) еще с середины XIX в. служат источником для создания многочисленных палеогео-

графических реконструкций. Предполагается, что ранее Иркут впадал в Байкал и был перехвачен с севера рекой, пропиливавшей плоскогорную ступень, или сток из Байкала какое-то время осуществлялся через Зыркузунскую петлю. В какой мере это правдоподобно? Следует учитывать два обстоятельства. Первое: уклон днища Тункинского рифта к Байкалу в два раза превышает уклон Иркута ниже Быстринской впадины, вплоть до слияния его с Ангарой. Раз связав свою судьбу с Байкалом, Иркут вряд ли мог его покинуть. Второе: сток из Байкала в прошлом не мог существенно отличаться от современного по Ангаре. Долина же Иркута в Зыркузунском ущелье просто не могла бы его вместить. Скорее всего существующие отношения в системе Иркут—Ангара—Байкал изначальны и не менялись в обозримом геологическом времени.

Обратимся теперь, пожалуй, к главному: почему днище Тункинского рифта имеет такой крутой уклон? Что вообще делает его уникальным в ряду внутриконтинентальных рифтов? Ведь он играет роль соединительного звена между самым высоким в Байкальской рифтовой зоне — Хубсугульским рифтом (1645 м) и самым низким — Байкальским (456 м).

Монголо-Сибирский пояс возрожденных гор, простирающийся от долины р.Нюкжи на востоке до Телецкого озера на западе, от Хангая и Хэнтея на юге и до Восточного Саяна и Станового нагорья на севере, характеризуется сводообразным поднятием цоколя. Это объясняется общим изостатиче-

ским вздыманием земной поверхности над подлитосферным астенолитом — гигантской линзой аномальной (разогретой и разуплотненной) мантии. Северный край астенолита поднимается до раздела Мохоровичича и обуславливает формирование и развитие Байкальской рифтовой зоны.

Сводоподобное поднятие цокольной поверхности Монголо-Сибирского горного пояса вдоль меридиана 100° осложнено высокогорной полосой, охватывающей Хангай, Прихубсугулье и Окинское плоскогорье. По сейсмологическим данным, она представляет собой геоморфологическое выражение канала, соединяющего нижнюю часть мантии с подлитосферным астенолитом. Вертикальный столб, или канал астеносферы, и сопутствующее ему изостатическое поднятие цокольной поверхности горного пояса составляют образование, названное нами горячей линией 100° в.д. На оси расположен Хубсугульский рифт, а на восточном скате — крутой Тункинский. Именно такой канал аномальной мантии определяет распространение молодого вулканизма в Хангае, горах Северной Монголии и Восточной Тувы, в Тункинском рифте и его горном обрамлении. Изотопные характеристики также говорят о присутствии в базальтах материала, поднявшегося из нижней мантии. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 01-05-97219, 02-05-64022 и 03-05-64898.**



## Организация науки

### Ассигнования на канадскую науку

Инновационный фонд Канады решил ассигновать 130 млн долл. США на девять научных мероприятий, связанных с участием страны в международных проектах. Из них 24,5 млн долл. направляются на переоборудование ледокола «Джон Франклин», который должен стать первым канадским научно-исследовательским судном.

Среди задач, поставленных перед коллективом этого 42-местного судна, — исследование глобальных климатических изменений. В частности, предстоит оценить экологические последствия значительного сокращения ледяного шельфа Маккензи в море Бофорта (крайний север Канады). На судне устанавливаются приборы для измерения морских течений, захвата и подъема образцов донного грунта, акустическое оборудование биологического назначения, многолучевая система сканирования рельефа дна.

Ледокол предполагается переименовать, так как имя Джона Франклина кажется ученым «несчастливым»: организованная в 1847 г. экспедиция для поиска северо-западного прохода из Атлантики в Тихий океан пропала среди льдов, и все 134 ее участника таинственным образом исчезли. Новое название пока не определено. Научным руководителем работ на судне назначен океанограф Л.Фортье (L.Fortier; Лавальский университет в Квебеке).

В числе других поддержанных проектов — преобразование Нейтринной обсерватории в Садбери (провинция Онтарио) в международную подземную лабораторию, в составе которой Ок-Риджская национальная лаборатория США.

Science. 2002. V.296. №5577. P.2313 (США).

## География

### Остров Флат больше не существует

Шел ноябрь 1833 г., когда вахтенный матрос британского китобойного брига «Самаранч», охотившегося в омывающих Антарктиду водах Индийского океана, заметил на горизонте клочок суши. Капитан Макдональд приказал обойти его, но от высадки воздержался: прибрежные воды кипели на каменистых отмелях и рифах, а на самом берегу стояли крутые утесы. Море здесь вечно штормит, так как воды умеренного пояса встречаются с ледяными антарктическими, бурлят и сильно испаряются, порождая густой туман и низкую облачность. Китобой, определив координаты острова (53.2° ю.ш., 72.36° в.д.) и нанеся его на карту под именем капитана-первооткрывателя, поспешили покинуть эти негостеприимные края — из живых существ здесь встречались лишь пингвины, тюлени, котика да морские птицы.

Мореплаватели, ходившие вокруг о.Макдональд, установили, что его очертания напоминают по форме шахматного коня. Площадь острова 1.13 км<sup>2</sup>, к северу лежит еще клочок суши — о.Флат, а на северо-северо-западе — опасная скала Майер. Среднегодовые температуры воздуха едва достигают 3°C; порывы ветра — до 210 км/ч.

Большого интереса ни Макдональд, ни Флат не представляли, так что своими владениями Австралия их объявила лишь в 1947 г., и никто другой претензий не предъявлял. До ближайшего отсюда о.Херд, открытого тем же капитаном Макдональдом, 43,5 км, до Антарктиды — около 1,5 тыс. км, а до австралийского города Перт — 4100 км. Учитывая девственность здешней среды, оба острова с их акваторией включены в 1997 г. в Список мирового культурного наследия.

Со дня открытия о.Макдональд прошло почти полтора века, прежде чем на него впервые ступили люди. В 1970 г. двое австралийских ученых, поднявшись на вертолете с французского экспедиционного судна «Gallieni», высадились на берег и пробыли там всего 20 мин, чтобы установить, не перевелись ли морские котика, ведь на о.Херд их уже полностью истребили. Оказалось, местные популяции еще существуют. Спустя десятилетие Австралийская картографическая служба произвела съемку дна и уточнила местоположение субантарктических островов Херд, Кергелен и окружающих их островков и скал. Высадившись на о.Макдональд (с помощью вертолета и машины-амфибии), картограф, ботаник, биолог и геолог за 6 сут выполнили разносторонние научные наблюдения, благодаря чему были присвоены названия многим объектам и сделано несколько небольших географических открытий. Оказалось, что о.Макдональд, имеющий, как и Флат, вулканическое происхождение, недавно стал ареной незамеченного людьми извержения. В результате в одних местах исчезли заливы, в других образовались далеко выступающие в море каменистые косы, но самым разительным оказалось исчезновение о.Флат, т.е. он не совсем исчез, а просто слился с о.Макдональд, площадь которого более чем удвоилась.

Итак, одним островом и одним проливом на планете стало меньше.

AusGEOnews. 2002. №68. P.10 (Австралия).

## Палеонтология

### Ихтиозавр вернулся домой

Таможенники в калифорнийском порту Сан-Диего, осматривая груз судна, прибыв-

шего из Китая, обнаружили, что в 93 ящиках лежат странные «камни и кости». Специалисты установили, что это палеонтологические образцы, добытые, очевидно, при раскопках на территории провинции Гуйчжоу в южной части КНР и тайно вывезенные за пределы страны.

Подробный осмотр показал, что среди 14 т контрабандных окаменелостей – остатки редкого вида крупного (пятиметрового) ихтиозавра, обитавшего 225 млн лет назад в теплых водах давно исчезнувшего моря. Специалистов очень заинтересовали также остатки 10 особей морского пресмыкающегося кейхоузавра (*Keichousaurus*) и некоторых почти неизвестных науке древних рыб.

Американские власти немедленно связались с китайскими дипломатами, и несостоявшаяся контрабанда вернулась на родину. Сейчас все, что осталось от ихтиозавра и других современных ему животных, совершивших путешествие через океан и обратно, размещено в хранилище Пекинского музея естественной истории.

Science. 2002. V.296. №5577. P.2311 (США).

### Археология

#### Архаические надписи на «костях дракона»

При раскопках на востоке КНР, в г.Аньяне, столице древнекитайского государства Инь (XIV–XI вв. до н.э.), обнаружены 600 фрагментов панцирей и костей черепах, датированных до 1300 г. до н.э. Эти так называемые «кости дракона» служили для гаданий вплоть до 1200 г. н.э. (времен правления династии Хань). На 228 из них находятся архаические надписи, содержание которых посвящено ритуалам, охоте, сражениям, небесным явлениям и сельскому хозяйству. Неподалеку от Аньяна, в с. Сяотунь, раскопано древ-

нее захоронение с останками 16 человек, принесенных в жертву во время религиозных обрядов.

Sciences et Avenir. 2002. №670. P.24 (Франция).

### Археология

#### Восстановление афганских памятников

Организованная ЮНЕСКО и афганским правительством международная конференция (Кабул, июнь 2002 г.) была посвящена восстановлению исторических и художественных памятников и учреждений культуры, разрушенных в ходе 23-летней войны. Наиболее известный памятник — статуи Будд в Бамианском ущелье<sup>1</sup>, уничтоженные фанатиками-талибами, — восстанавливаться не будет, если только власти страны не примут на себя расходы. Однако Япония объявила о выделении 700 тыс. долл. для немедленного укрепления горных пород, ослабленных артиллерийской пальбой по статуям. В этом проекте японцам помогут швейцарские специалисты.

Главный музей страны — Кабульский — ныне являет жалкое зрелище. Афганским археологам все же удалось спасти и спрятать небольшую часть его коллекций. Правительство Греции ассигнует 750 тыс. долл. на восстановление музейного здания. Археологический институт в Берлине предлагает выделить 350 тыс. долл. для организации аналогичного института в составе Афганской академии наук, а также археологического факультета в местном университете.

Министерство иностранных дел Германии изыскало 350 тыс. долл. на консервацию ряда исторических и археологических объектов Афганистана. Среди них — замечательный Джамский минарет XII в., по высоте занимающий второе место

<sup>1</sup>Как возродить афганские древности? // Природа. 2003. №1. С.88.

в мире (его фундамент сильно ослаблен, и башня покосилась). Итальянские власти тоже выделяют 1.3 млн долл. на консервацию памятников и другие культурные цели. Правительства Великобритании и США намерены сосредоточиться на гуманитарной и военной помощи Афганистану, не участвуя в культурных проектах.

Распорядителем основных средств является ЮНЕСКО. Исключение составляет лишь 5 млн долл., которые презентованы Фондом Ага-Хана — главы мусульман-исмаилитов, одного из богатейших людей мира. Эти деньги будут израсходованы непосредственно Кабульским муниципалитетом на восстановление Садов императора Бабура (XVI в.).

Science. 2002. V.296. №5575. P.1950 (США).

### Археология

#### Наркотикам три тысячи лет

Дж.Зиас и М.Шпиглеман (J.Zias, M.Spigleman; Древнееврейский университет в Иерусалиме) полагают, что применение наркотических средств, содержащих опиум, началось около 3000 лет назад. Так, остатки этого вещества обнаружены методом газовой хроматографии в египетских глиняных сосудах времен XVIII династии.

С глубокой древности известны и свойства гашиша. Свидетельство тому — находки в захоронении около г.Бейт Шемеш (Израиль), датированном 390 г. до н.э. Рядом с останками женщины, скончавшейся во время родов, находились семь сосудов, которые содержали следы смеси гашиша с зернами, плодами и фрагментами розоцветных. Видимо, роженица должна была вдыхать это психотропное вещество во время схваток.

Sciences et Avenir. 2002. №667. P.48 (Франция).



# Сюрпризы несоразмерной фазы в сегнетоэлектриках

С.А.Гриднев

В 70-х годах прошлого века активно исследовались не полностью упорядоченные кристаллы, и одной из целей было установить влияние различных видов беспорядка на их свойства. Именно тогда в поле зрения ученых попали новые объекты — сегнетоэлектрические кристаллы с несоизмерными фазами [1]. Типичные представители этого класса — соединения  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{Sc}(\text{NH}_4)_2$ ,  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{Se}_6$  и др., а также большая группа сегнетоэлектрических кристаллов с общей формулой  $\text{A}_2\text{BX}_4$ , где  $\text{A} = \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{NH}_4, \text{N}(\text{CH}_3)_4$  и  $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{F}$ . Следует сказать, что несоизмерные структуры, которые называют также несоизмеримыми, длиннопериодическими, или модулированными, структурами, широко распространены в природе: ранее они изучались в магнитоупорядоченных системах, упорядочивающихся сплавах и других материалах. К ним относятся геликоидальные магнитные структуры, жидкие кристаллы (хиральные смектики), интеркалированные соединения графита (структуры, состоящие из чередующихся исходных слоев углерода и новых слоев, образованных введенными между ними атомами металла), решетки вихрей в сверхпроводниках второго



*Станислав Александрович Гриднев, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела Воронежского государственного технического университета. Область научных интересов — сегнетоэластики, сегнетоэлектрики, неупорядоченные полярные диэлектрики, релаксоры, дипольные стекла.*

рода и др. И прежде чем говорить о сегнетоэлектрических проявлениях несоизмерности, поясним, что, собственно, она из себя представляет.

## Несоизмерная фаза — что это такое?

Отличительная особенность несоизмерной, или модулированной, фазы — наличие в ней сверхструктуры. Известно, что сверхструктура возникает в тех случаях, когда фазовый переход в кристалле сопровождается изменением трансляционной симметрии, т.е. изменением числа атомов в элементарной ячейке, а значит, и умножением (мультипликацией) объема последней.

Для большей наглядности и простоты рассмотрим возникновение сверхструктуры в результате структурного фазового перехода на примере простой двумерной решетки, содержащей два сорта атомов: А (большие кружки) и В (маленькие кружки). Пусть в исходной высокосимметричной фазе атомы А и В расположены так, как показано на рис.1,а: атомы А образуют квадратную решетку с периодом  $a$ , атомы В находятся в центре каждой ячейки. Нетрудно убедиться в том, что, если взять в качестве элементарной ячейки квадрат со стороной  $a$  (на рисунке он заштрихован) и многократно повторять его (транслировать) в двух взаимно перпендикулярных направлениях, можно построить весь

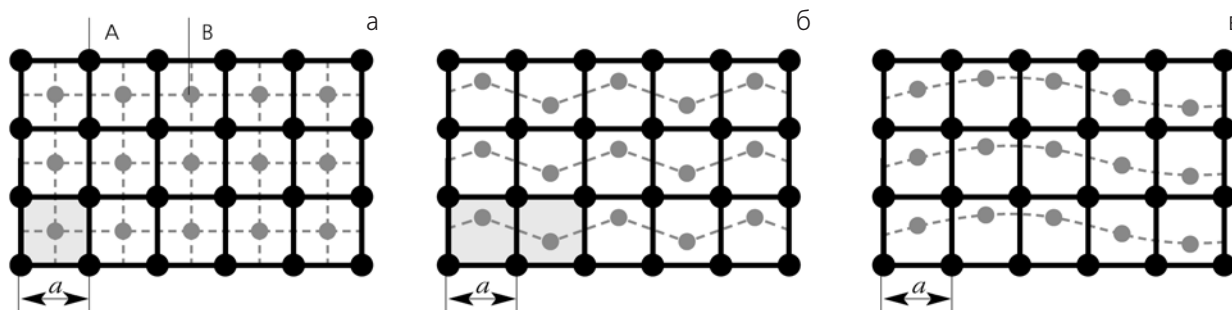


Рис. 1. Образование в модельном кристалле со структурной формулой типа АВ (а) сверхструктуры. В одном случае (б) новый период соизмерим с параметром элементарной ячейки (он вдвое больше), а в другом (в) — длина замороженной волны смещений несоизмерима с параметром элементарной ячейки и образуется несоизмерная структура.

плоский модельный кристалл. То же самое удастся проделать и в трех измерениях. Именно это подразумевают, когда говорят, что кристалл имеет трехмерную трансляционную симметрию с периодом трансляции, равным  $a$ .

Трансляционная симметрия может измениться при фазовом переходе, точнее, период трансляции может увеличиться и стать кратным величине  $a$ :  $a = na$ , где  $n$  — целое число. Например, если в результате фазового перехода атомы В в соседних ячейках оказались смещенными от центра на одинаковое расстояние в противоположных направлениях (рис.1,б), в новой низкосимметричной фазе элементарная ячейка равна удвоенной ячейке исходной симметричной фазы и содержит большее число атомов, т.е. произошло изменение трансляционной симметрии кристалла. На рисунке видно, что соединенные штриховыми линиями атомы В образуют *замороженную волну смещений*, период которой в два раза больше периода кристаллической решетки исходной фазы. Таким образом, в результате фазового перехода образовалась сверхструктура с периодом, удвоенным по отношению к исходному. Причем она соизмерима с кристаллической решеткой, поскольку отношение периода волны смещений к периоду решетки выражается ра-

циональным числом (изменяется в целое число раз), поэтому новая низкосимметричная фаза называется *соразмерной*.

Иная ситуация возникает в кристалле, когда смещения атомов В относительно их исходных положений также образуют в новой фазе сверхструктуру, но период замороженной волны смещений зависит от внешних условий (температуры, давления и пр.) и пробегает при изменении этих условий некоторый непрерывный интервал значений как соизмеримых, так и несоизмеримых с периодом кристаллической решетки. Это означает, что отношение длины волны смещений к параметру элементарной ячейки может быть любым, в том числе и иррациональным числом. В последнем случае возникшая фаза является *несоразмерной фазой* со сверхструктурой (рис.1,в). Теперь невозможно выбрать такую элементарную ячейку, транслируя которую можно было бы построить кристалл, — в новой фазе исчезла трансляционная симметрия и, значит, отсутствует дальний порядок в расположении атомов. В данном случае мы встретились с интересной и нетрадиционной для кристаллов ситуацией, когда в кристалле со строго определенным расположением атомов возникает неупорядоченная фаза без трансляционной симметрии.

Возвращаясь к сегнетоэлектрикам, вспомним: когда они самопроизвольно поляризуются, их состояние описывается с помощью величины, называемой поляризацией. Последняя характеризует дипольный момент, возникающий в объеме материала. Несоразмерную структуру можно представить как пространственную модуляцию (замороженную волну) спонтанной поляризации. По этой причине суммарная макроскопическая поляризация образца сегнетоэлектрика в несоизмерной фазе равна нулю.

## Фазовые переходы становятся в очередь

Несоразмерная фаза в сегнетоэлектриках обычно наблюдается как промежуточная, расположенная на фазовой диаграмме между двумя обычными соразмерными фазами (рис.2). Температурный интервал ее существования в разных кристаллах изменяется от единиц до сотен градусов. Более симметричную фазу, в которой спонтанной поляризации не бывает, обычно называют нормальной, а менее симметричную — соразмерной полярной фазой. Таким образом, при понижении температуры стандартная схема переходов включает в себя следующую последовательность: соразмерная нормальная — несоизмер-



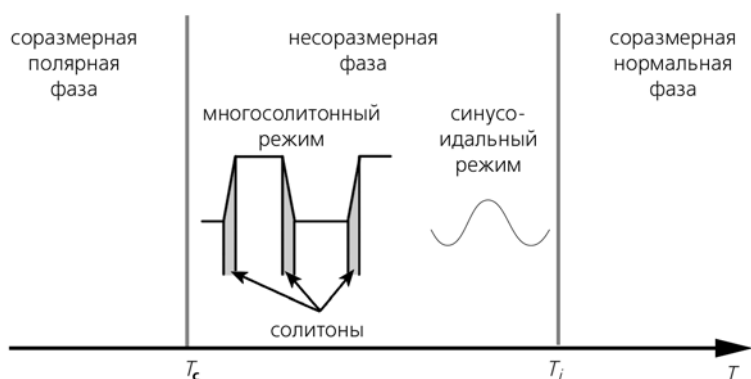


Рис.2. Схематическое представление последовательности трех фаз; изменение режима в несоразмерной фазе от синусоидальной модуляции к решетке соразмерных областей, разделенных нарушениями соизмеримости — солитонами.

ная — соразмерная полярная фаза. Низкотемпературная фаза является сегнетоэлектрической, и структура ее такова, что она могла бы возникнуть в результате фазового перехода из нормальной фазы непосредственно в соразмерную сегнетоэлектрическую без всякой промежуточной. Однако раньше возникла другая фаза — несоразмерная, которая «вклинилась» между двумя соразмерными.

На температурной шкале несоразмерная фаза ограничена снизу температурой Кюри  $T_c$ , а сверху — температурой  $T_i$ . При охлаждении из несоразмерной фазы через  $T_c$  система переходит в соразмерную сегнетоэлектрическую, а при нагревании через  $T_i$  — в соразмерную нормальную фазу. В зависимости от того, вблизи какой из температур ( $T_c$  или  $T_i$ ) в несоразмерной фазе находится система, будут наблюдаться существенно разные картины изменения поляризации. При температурах вблизи точки перехода  $T_i$  распределение этого параметра в замороженной волне имеет синусоидальный характер. При удалении от  $T_i$  вглубь несоразмерной фазы увеличивается вклад высших гармоник в пространственное распределение поляризации и поэтому вблизи

$T_c$  несоразмерная структура становится похожей на периодическую доменную структуру соразмерной сегнетоэлектрической фазы, период которой закономерно изменяется с температурой. Итак, профиль несоразмерной модуляции постепенно изменяется от чисто синусоидального вблизи  $T_i$  до почти прямоугольного вблизи  $T_c$  (рис.2). В последнем случае говорят также о периодической решетке солитонов, обозначая термином *солитон* границу между доменами в несоразмерной фазе.

Термодинамическая теория фазовых переходов в несоразмерную фазу дает следующее выражение для расстояния между солитонами  $L_0$  (или периода модуляции) в равновесном случае [2]:

$$L_0 = \delta \ln \frac{a_2}{a_1(T - T_c)} + \delta \ln \ln \frac{a_2}{a_1(T - T_c)} + \dots, \quad (1)$$

где  $\delta$  — величина порядка ширины солитона,  $a_2$  — коэффициент, слабо зависящий от температуры вблизи  $T_c$ ,  $a_1(T - T_c)$  — поверхностная энергия солитона.

Из формулы (1) видно, что при приближении к переходу из несоразмерной в соразмерную фазу ( $T \rightarrow T_c$ ) расстояние между

солитонами увеличивается, в идеальном случае оно стремится к бесконечности, а кристалл — к монодоменному состоянию, и происходит непрерывный переход в соразмерную фазу. В большинстве реальных случаев, однако, расстояние между солитонами вблизи  $T_c$  остается конечным и этот переход носит скачкообразный характер.

Как правило, фазовый переход в точке  $T_i$  оказывается переходом второго рода, а соразмерно-несоразмерный переход в точке  $T_c$  — переходом первого рода, близким к трикритической точке на фазовой диаграмме (где линия фазовых переходов второго рода превращается в линию фазовых переходов первого рода). Следовательно, значения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  при  $T = T_c$  должны быть высокими, а в несоразмерной фазе вблизи  $T_c$  ее температурная зависимость описывается законом Кюри—Вейса:

$$\epsilon = \epsilon_\infty + \frac{C_w}{T - T_c}, \quad (2)$$

где  $C_w$  — постоянная Кюри—Вейса,  $\epsilon_\infty$  — значение диэлектрической проницаемости вдали от точки перехода.

Вблизи  $T_i$  диэлектрическая проницаемость также изменяется с температурой по закону Кюри—Вейса с одинаковыми  $C_w$  в обеих фазах, но разными параметрами  $T_c$ . Поэтому кривая  $\epsilon(T)$  испытывает излом в  $T_i$  — точке пересечения этих кривых.

Из вышесказанного нетрудно понять, почему  $\epsilon$  растет при приближении к  $T_c$  со стороны несоразмерной фазы. При охлаждении кристалла расстояние между солитонами в соответствии с (1) будет увеличиваться, а их равновесная плотность — уменьшаться, так как при этом часть солитонов «покинет» кристалл (не поместится в нем), а остальные подобно гармошке раздвинутся. Поскольку число солитонов при приближении к  $T_c$  становится все меньше и меньше, их смещение под дей-

ствием электрического поля будет происходить тем легче, чем дальше они расположены друг от друга, т.е. чем слабее они взаимодействуют. Именно поэтому величина  $\epsilon$ , которая характеризует скорость изменения поляризации под действием поля, будет увеличиваться при приближении температуры к  $T_c$ .

Наличие в сегнетоэлектрическом кристалле несоизмеренной фазы приводит к целому ряду необычных и интересных явлений. Связаны они прежде всего с тем, что при иррациональном отношении периода замороженной волны к периоду основной кристаллической структуры потенциальная энергия кристалла не меняется при сдвиге замороженной волны как целого. В самом деле, из-за несоизмеримости длины этой волны с параметром  $a$  базовой решетки (рис.1,б) атомы В при переходе от одной ячейки к другой смещаются таким образом, что величина смещения ни разу не повторяется, т.е. кристалл характеризуется бесконечным набором данных величин. Если теперь волну смещений переместить как целое, картина смещений будет иметь такой же характер, что и до переноса замороженной волны, и потенциальная энергия кристалла, которая определяется взаимным расположением атомов, останется неизменной. Все сказанное означает, что несоизмеренная структура относится к *вырожденным* системам, энергия которых не меняется при однородном по объему изменении (здесь — непрерывном) некоторого параметра системы.

### Чудеса вырождения

Вырожденность несоизмеренной структуры приводит к весьма специфическим свойствам. Так, в ней возможно бесконечное многообразие доменных стенок: по мере удаления от температуры перехода из соразмерной фазы ширина доме-

нов уменьшается и затем при приближении к  $T_i$  становится сравнимой с шириной доменной стенки. По сути такую структуру уже нельзя назвать доменной, скорее это замороженная волна атомных смещений (рис.1,в).

Другое важное следствие вырожденности — влияние на свойства несоизмеренной структуры со стороны дефектов кристаллической решетки, которые могут закреплять (пиннинговать — от английского pin — булавка) солитоны, а следовательно, фиксировать замороженную волну. Благодаря этому случайно расположенные дефекты конечной концентрации искажают несоизмеренную структуру. Однако дефекты закрепляют волну смещений не абсолютно жестко: она может перемещаться относительно них, преодолевая при этом некоторый энергетический барьер. Такие переходы возможны в результате термически активированного процесса даже при сколь угодно слабой силе, стремящейся сместить волну. Поэтому в кристалле

с дефектами в несоизмеренной фазе возникает множество долгоживущих метастабильных состояний, которые связаны с существованием несоизмеренной модуляции и дефектов решетки, что приводит к аномально большому термическому гистерезису различных физических свойств.

Уже в первых исследованиях диэлектрических свойств несоизмеренных структур, выполненных Б.А.Струковым на кристаллах  $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$  [3] и К.Хамано на образцах  $\text{Rb}_2\text{ZnCl}_4$  [4], были получены удивительные результаты. Прежде всего было обнаружено, что не совпали кривые температурной зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon(T)$  при нагревании и при охлаждении во всей несоизмеренной фазе и в некоторой области соразмерной фазы ниже  $T_c$  (рис.3). Наиболее сильно гистерезис выражен в низкотемпературной области несоизмеренной фазы вблизи  $T_c$ , а при приближении к  $T_i$  гистерезисные явления становятся слабее [5]. Так как регистрируются две различ-

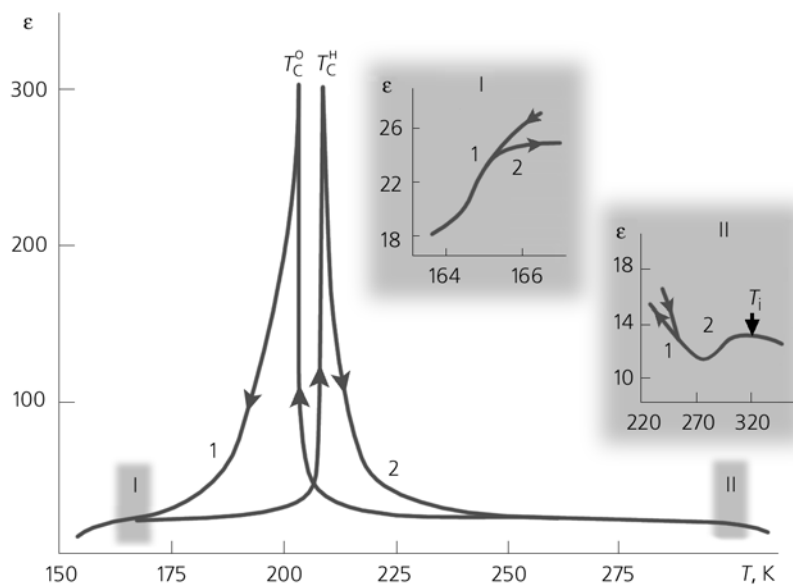


Рис.3. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости кристалла  $\text{Rb}_2\text{ZnCl}_4$  при охлаждении (1) и нагревании (2) в окрестности фазового перехода из несоизмеренной в соразмерную полярную фазу. На вставках — кривые  $\epsilon(T)$  в увеличенном масштабе вблизи граничных температур аномального термического гистерезиса.



ные зависимости  $\epsilon(T)$  для нагревания и охлаждения, следует различать температуру Кюри при нагревании  $T_c^{\text{н}}$  и при охлаждении  $T_c^{\text{о}}$ .

Наблюдаемый термический гистерезис имеет иную природу, чем обычный гистерезис свойств при фазовых переходах первого рода. Было высказано предположение, что он обусловлен пиннингом солитонов за счет дефектов и примесей. При эволюции модулированной структуры в сторону равновесия период модуляции стремится к своему равновесному значению, а пиннинг солитонов задерживает изменение периода модулированной структуры. Если это так, можно ожидать, что гистерезисные явления будут выражены сильнее в кристаллах, содержащих больше дефектов. В самом деле, специально поставленные эксперименты на кристаллах с заранее известной концентрацией примесей (К.Хамано [6]; Б.А.Струков [7]; П.Сант-Грегуар [8]) подтвердили, что с ее ростом увеличивается температурный диапазон, в котором наблюдается гистерезис.

Отметим, что пиннинг солитонов в принципе возможен даже в бездефектном (идеальном) кристалле из-за взаимодействия солитонов с атомами базовой кристаллической решетки. В некотором температурном интервале вблизи  $T_c$ , где толщина солитона становится очень узкой, равной нескольким периодам решетки, солитоны начинают тормозиться, и процесс установления равновесного состояния замедляется. Вполне возможно, что в этом случае энергия взаимодействия между солитонами станет меньше энергии пиннинга и солитоны окажутся закрепленными атомами базовой решетки в случайных положениях. Следовательно, дискретность базовой решетки может действовать как случайное поле, разрушающее дальний порядок в солитонной подрешетке вблизи  $T_c$ . Однако, согласно

оценкам, температура, при которой энергия пиннинга становится сравнимой с энергией взаимодействия солитонов, находится очень близко к  $T_c$ , что не позволяет объяснить аномальный термический гистерезис в широком интервале температур. Так что дискретность базовой решетки не единственная причина пиннинга солитонов и гистерезиса, на них гораздо большее влияние оказывают дефекты.

Как следует из результатов экспериментальных исследований, основной причиной аномального термического гистерезиса служит образование в несоизмерной фазе модулированной волны дефектов. Точечные дефекты под действием силового поля солитонов перемещаются к ним и образуют вблизи них облака дефектов, которые закрепляют солитоны. Поэтому при достижении температуры  $T_c^{\text{о}}$  плотность солитонов не становится равной нулю, как это было бы при равновесии, а остается конечной не только в этой точке, но и при охлаждении кристалла в соизмерную фазу. При дальнейшем понижении температуры энергия стенок будет увеличиваться и кристалл постарается избавиться от них, т.е. плотность солитонов будет уменьшаться. Среднее расстояние между ними настолько возрастет, что взаимодействием солитонов друг с другом можно пренебречь; тогда смещение солитонов под действием поля станет определяться пиннингом, поэтому  $\epsilon$  будет убывать при понижении температуры ниже  $T_c^{\text{о}}$ .

Если после охлаждения в соизмерную фазу до температуры, когда солитонов не осталось совсем, начать вновь нагревать кристалл, можно увидеть, что  $\epsilon$  слабо зависит от температуры вплоть до  $T_c^{\text{н}}$ . В области температур, близкой к  $T_c^{\text{н}}$ , сразу же с появлением первых солитонов  $\epsilon$  резко возрастает, а затем начинает уменьшаться по мере увеличения их плотности с ростом

температуры. Такого типа гистерезисные зависимости  $\epsilon(T)$  наблюдаются в экспериментах (рис.3).

## Все течет, все изменяется

Если измерения проводить при некоторой фиксированной температуре (при изотермической выдержке образца) достаточно долго, во всей температурной области гистерезиса наблюдается изменение со временем (релаксация) диэлектрической проницаемости, упругих модулей и других характеристик, свидетельствующее о релаксации метастабильных состояний и приближении несоизмерной структуры с дефектами к равновесию. Примечательно, что возникшие метастабильные состояния выглядят вполне стабильными как при нагревании, так и при охлаждении — времена релаксации для разных кристаллов составляют величины порядка нескольких часов и даже десятков часов.

Если после нагрева или охлаждения температуру стабилизировать, происходит непрерывное изменение  $\epsilon$  со временем до равновесной величины, которая лежит между кривыми  $\epsilon(T)$ , снятыми в режиме нагревания и охлаждения (рис.4). На кривой нагревания для кристалла  $\text{Rb}_2\text{ZnCl}_4$  временные зависимости  $\epsilon$  достаточно хорошо аппроксимируются выражением [9]:

$$\epsilon(t) = \epsilon_{\infty} + \epsilon_1 \exp(-\sqrt{t}/\tau_1) + \epsilon_2 \exp(-\sqrt{t}/\tau_2), \quad (3)$$

а на кривой охлаждения — формулой с двумя слагаемыми:

$$\epsilon(t) = \epsilon_{\infty} + \epsilon_3 \exp(-\sqrt{t}/\tau_2), \quad (4)$$

где  $\epsilon_{\infty}$  — равновесная диэлектрическая проницаемость при данной температуре;  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  — предэкспоненциальные множители, слабо зависящие от температуры;  $\tau_1$  — время релаксации, связанное с наличием полярных областей соизмерной фазы

в некотором температурном интервале выше  $T_c^m$ ,  $\tau_2$  — время релаксации, обусловленное перестройкой солитонной структуры,  $t$  — время.

Наличие в несоизмерной фазе двух релаксационных процессов с временами релаксации  $\tau_1$  и  $\tau_2$  отражает факт сосуществования соразмерной и несоизмерной фаз при  $T = T_c^m$ . Его можно объяснить тем, что движение доменных границ из-за их взаимодействия с дефектами и примесями затруднено. Сами же временные зависимости  $\epsilon$  в области гистерезиса обусловлены постепенным установлением равновесия солитонной структуры — процессы зарождения и разрастания солитонов занимают определенное время. После изменения температуры период несоизмерной волны не может принять равновесную величину сразу, а проходит последовательность всех разрешенных для него значений в результате движения солитонов и их взаимодействия с примесями и базисными атомами кристаллической решетки. Поэтому время формирования волны модуляции при какой-либо определенной температуре складывается из длительностей стадий достижения всех предшествующих значений.

Релаксация диэлектрической проницаемости происходит также и в соразмерной сегнетоэлектрической фазе в области аномального гистерезиса. Временные зависимости  $\epsilon$  на кривой охлаждения описываются суммой двух дробно-экспоненциальных функций, аналогичных (3), в которой одно время релаксации обусловлено динамикой сегнетоэлектрических доменных границ, а второе — изменением концентрации солитонов.

На кривой нагревания в соразмерной фазе релаксационные явления наблюдаются лишь при специальном режиме измерения. Кристалл необходимо предварительно охладить до температуры, ниже которой со-

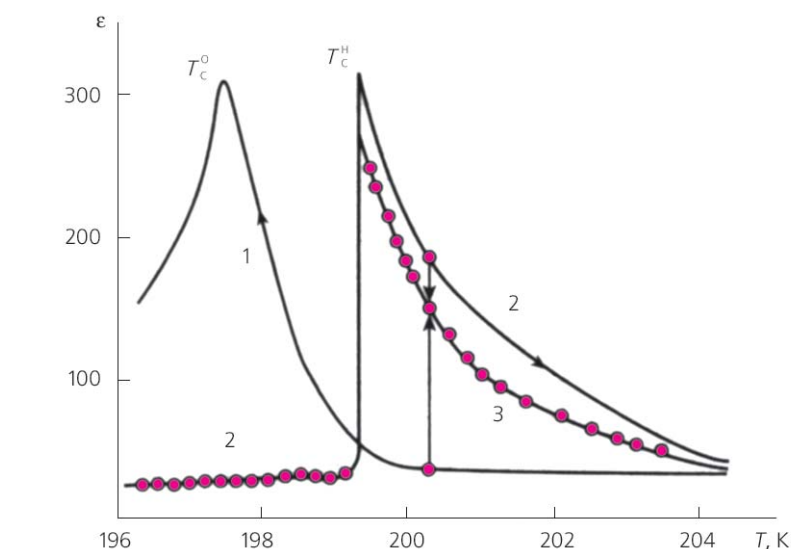


Рис. 4. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости кристалла  $Rb_2ZnCl_4$  в окрестности точки Кюри при охлаждении (1) и нагревании (2). Экспериментальные точки соответствуют равновесным значениям диэлектрической проницаемости (3).

литоны уже отсутствуют, затем нагреть до выбранной температуры, заставить стабилизировать эту температуру и после всего этого внешним переменным напряжением вывести доменную структуру из состояния равновесия. Тогда после отключения внешнего напряжения происходит изменение  $\epsilon$  со временем по дробно-экспоненциальному закону типа (4), включающему время релаксации доменной структуры. Равновесные значения  $\epsilon$  в соразмерной фазе после релаксации совпадают со значениями  $\epsilon$  на кривой  $\epsilon(T)$  в режиме нагревания.

Таким образом, в кристалле с дефектами несоизмерная структура имеет множество метастабильных состояний, поэтому приближение к равновесию обладает особенностями, характерными для неупорядоченных систем, в частности, имеет место долговременная релаксация, которая описывается не простыми экспоненциальными зависимостями от времени, а дробно-экспоненциальными функциями.

## Метаморфозы солитонной структуры

Внешнее электрическое поле  $E$  резко уменьшает диэлектрическую проницаемость вблизи  $T_c$ , но практически не влияет на ширину области температурного гистерезиса соразмерно-несоразмерного фазового перехода, т. е. величина  $T_c^m - T_c^o$  остается той же самой.

В результате многочисленных исследований на различных кристаллах установлено, что  $T_c$  почти линейно (с логарифмической поправкой) смещается под действием электрического поля в область более высоких температур согласно следующей эмпирической зависимости:

$$\Delta T_c = T_c^E - T_c^{E=0} = \frac{E \Delta T_c}{A} \left( 1 + \ln \frac{4A}{E} \right), \quad (5)$$

где  $A$  — постоянный коэффициент,  $E$  — модуль напряженности электрического поля.

Смещение  $T_c$  под действием поля означает, что сильное элек-



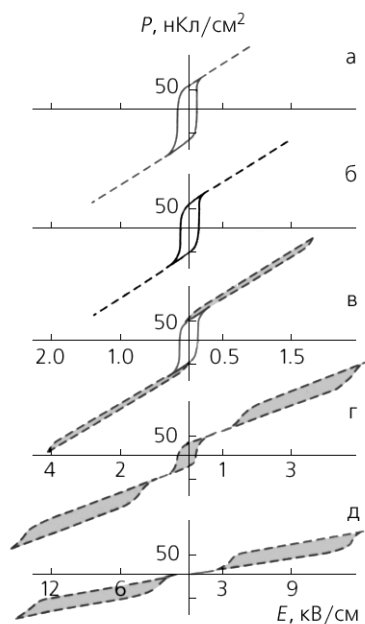


Рис. 5. Температурная эволюция петель гистерезиса  $P(E)$ , снятых после нагревания кристалла  $Rb_2ZnCl_4$  из полярной фазы, при различном удалении от  $T_c^m$ :  $-0.7$  К (а),  $0$  (б),  $+0.8$  К (в),  $+1.6$  К (г) и  $+4.1$  К (д).

трическое поле  $E$  индуцирует в несоизмерной фазе сегнетоэлектрическую фазу. Обычно наличие индуцированных полем фазовых переходов приводит к образованию двойных гистерезисных петель поляриза-

ции  $P$  в зависимости от поля  $E$ . Для сегнетоэлектриков с несоизмерными фазами такие петли имеют особый вид (рис. 5): ниже  $T_c^m$  во всей области соразмерной фазы петли  $P(E)$  имеют обычную для сегнетофазы форму одинарных петель (кривые а и б); затем они начинают изменяться так, что при температурах чуть выше  $T_c^m$  поляризация кристалла устанавливается двумя ступенями, и петли приобретают форму тройных петель гистерезиса (кривые в и г); при более высоких температурах ( $T > T_c^m + 4.1$  К) наблюдаются двойные петли гистерезиса (кривая д) [10].

Необычные тройные петли можно видеть только при температурах чуть выше  $T_c^m$ , причем механизм их образования обусловлен тем, что в области не очень высоких полей сосуществуют одновременно несоизмерная и соразмерная фазы, а вторая ступенька поляризации в сильных полях связывается с индуцированным полем фазовым переходом. Однако тройные петли гистерезиса оказываются неравновесными, постепенно (за время релаксации) они превращаются в двойные, поскольку при изотермической выдержке исчезают области соразмерной фазы, «затянутые» при нагревании в несоизмерную фазу.

\*\*\*

Особенности физических свойств кристаллов в несоизмерно модулированной фазе в большой мере связаны с необычностью границ (солитонов), существующих между ее доменоподобными состояниями. Именно динамика солитонов в реальных (содержащих дефекты) кристаллах и их взаимодействие с различными дефектами кристаллической структуры ответственны за проявление разнообразных особых свойств. Конечно, все то, что изложено в данной статье, не исчерпывает многообразия физических свойств и явлений в кристаллах с несоизмерной фазой. Не коснулись мы и возможных в перспективе применений этих кристаллов, в частности, в устройствах долговременной памяти, в оптических приборах с перестраиваемой в широком диапазоне дифракционной решеткой и др. Пока не все процессы, происходящие в несоизмерных структурах, совершенно ясны; ряд явлений, о которых говорилось выше, и некоторые другие требуют дальнейшего длительного изучения. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-02-16097.**

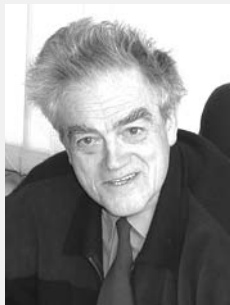
## Литература

1. Физика сегнетоэлектрических явлений / Под ред. Г.А.Смоленского. М., 1985. С.117—123.
2. Струков Б.А., Леванюк А.П. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах. 2-е изд. М., 1995. С.229—265.
3. Струков Б.А. Сегнетоэлектрические свойства сульфата, кислого сульфата и фтористого аммония: Дис. канд. физ.-мат. наук. М., Ин-т кристаллографии АН СССР, 1963.
4. Hamano K., Hisbinuma T., Ema K. // J. Phys. Soc. Japan. 1981. V.50. P.2666—2669.
5. Gridnev S.A. // Ferroelectrics. 2002. V.266. P.171—203.
6. Hamano K., Ikeda Y., Fujimoto T. et al. // J. Phys. Soc. Japan. 1980. V.49. P.2278—2283.
7. Strukov B.A., Kobayashi J., Uesu Y. // Ferroelectrics. 1985. V.64. P.54—59.
8. Saint-Gregoire P., Mezzane D. // Ferroelectrics. 1988. V.88. P.257—263.
9. Gridnev S.A., Gorbatenko V.V., Prasolov B.N. // Ferroelectrics. 1995. V.164. P.349—352.
10. Гриднев С.А. Сегнетоэлектрические кристаллы с несоизмерными фазами // Современное естествознание. М., 2000. Т.5. С.263—268.

# Как остановить синтез белков?

Л.Л.Киселев

Благодаря достижениям молекулярной биологии последних двух десятилетий мы знаем, как инициируется белковый синтез на рибосомах (клеточных частицах, в которых протекает трансляция, т.е. синтез белков) и как происходит удлинение полипептидной цепи (элонгация). Однако завершение синтеза (терминация) оставалось вне поля зрения исследователей, хотя еще с конца 1960-х годов известны два основополагающих факта. Во-первых, синтез прекращается, когда в участке А малой субъединицы рибосомы появляется стоп- (нонсенс-)кодон. Это один из трех тринуклеотидов (УАА, УАГ, УГА), которые не кодируют аминокислот, а служат сигналом для окончания элонгации (рис.1). Во-вторых, «считывание» стоп-кодонов в рибосоме нуждается в особых белках, названных факторами освобождения полипептидных цепей (release factors, сокращенно RF). По свойствам и роли в клетке эти белки подразделяются на два класса. У бактерий известны два фактора терминации класса-1 — RF1 (узнающий стоп-кодона УАА и УАГ) и RF2 (узнающий УАА и УГА), у архебактерий — aRF1, у эукариот — eRF1 (узнающие все три стоп-кодона).



*Лев Львович Киселев, академик РАН и Европейской академии (Academia Europaea), заведующий лабораторией Института молекулярной биологии им.В.А.Энгельгардта РАН, председатель научного совета «Геном человека», главный редактор журнала «Молекулярная биология»*

К концу 80-х годов аминокислотная последовательность многих бактериальных факторов стала известна, а вот с eRF1 произошла драматическая история, о которой я уже рассказывал [1]. Американские исследователи в результате методических ошибок приписали ему структуру совсем другого белка. Обнаружив это [2], мы смогли расшифровать истинную последовательность аминокислот eRF1 [3], что позволило идентифицировать похожие на него архебактериальные факторы aRF1. При этом выяснилось, что eRF1 резко отличается по структуре от ранее известных RF1 и RF2, и мы предположили, что факторы терминации бактерий и эукариот произошли от разных предко-

вых молекул [3]. Такая гипотеза вызвала резкую критику со стороны некоторых исследователей. Однако дальнейшее изучение большого числа структур [4], а также рентгеноструктурный анализ кристаллов eRF1 (выполненный в Англии) и RF2 (в Дании) полностью подтвердили нашу правоту.

Структуру факторов класса-2 бактериального RF3 [5] и эукариотического eRF3 [6] установили почти одновременно. Они оказались ферментами, которые катализируют внутри рибосом гидролиз гуанозинтрифосфата (ГТФ), не участвуют в терминации (расщеплении конечного продукта белкового синтеза, пептидил-тРНК), но способствуют освобождению из рибосом факторов класса-1 [7, 8].

© Л.Л.Киселев



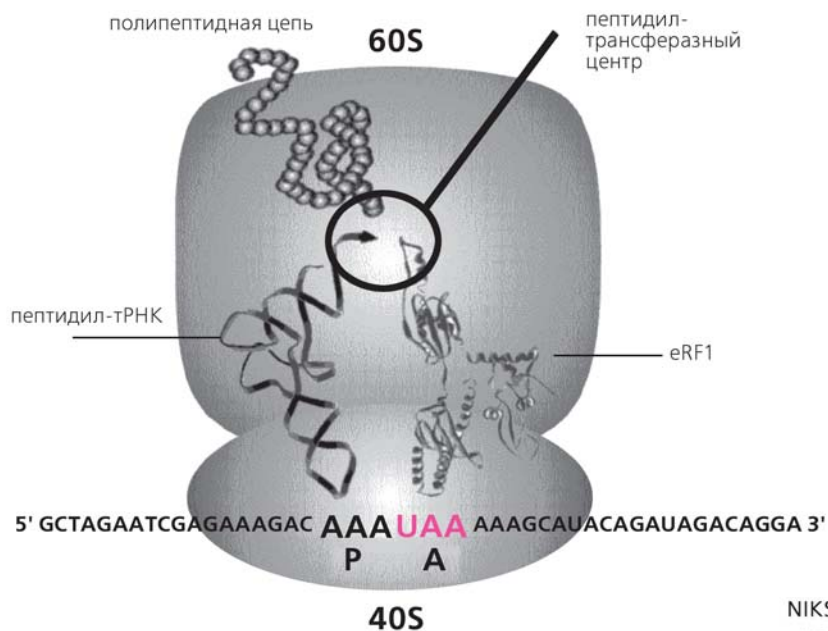


Рис.1. Схема терминации белкового синтеза у эвкалиот. По мере того, как молекула мРНК продвигается сквозь рибосому (состоящую из 60S и 40S субчастиц), ее нуклеотидная последовательность переводится в аминокислотную. Присутствие стоп-кодона UAA и eRF1 в А-участке рибосомы приводит к остановке синтеза — расщеплению пептидил-тРНК (освобождению полипептидной цепи).

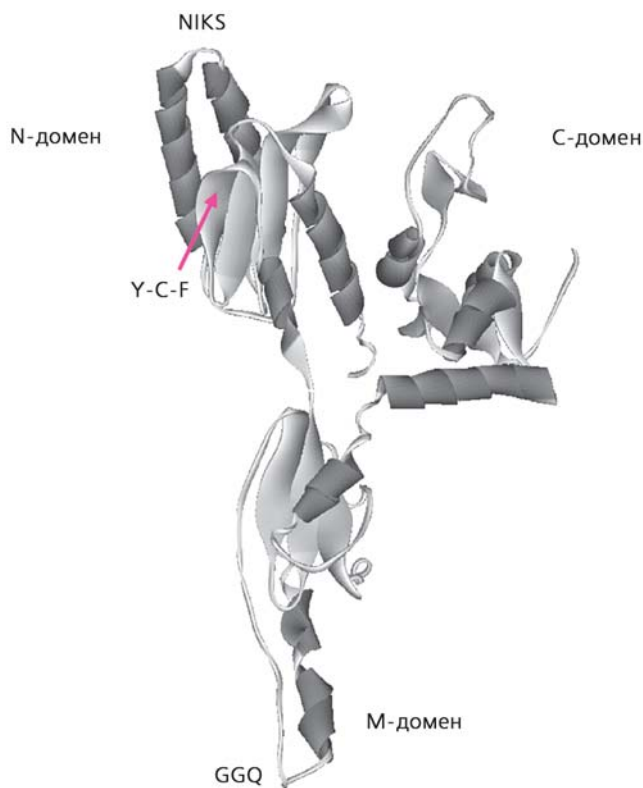


Рис.2. Схема трехмерной структуры eRF1 человека по данным рентгеноструктурного анализа [12]. N-домен узнает стоп-кодон, M-домен находится в пептидилтрансферазном центре рибосом и участвует в гидролизе пептидил-тРНК, C-домен связывается с фактором класса-2 eRF3. Трипептид GGQ находится на одном из концов молекулы eRF1, образуя гибкую петлю. Такое пространственное расположение обеспечивает контакт eRF1 с пептидил-тРНК, которая располагается в соседнем с молекулой участке (P).

### Ключевая роль трипептида GGQ

Бактериальные и эвкалиоти-ческие факторы класса-1, несмотря на несходство своих первичных структур, имеют один общий элемент — трипептид глицил-глицил-глутамин (сокращенно GGQ). Он присутствует во всех белках класса-1,

а их сейчас известно для бактерий, архебактерий и эвкалиот уже около 100 (рис.2). Обнаружив совместно с коллегами из центра по вирусологии и биотехнологии «Вектор» этот универсальный мотив, мы предположили, что он ответствен за химическую стадию терминации (расщепление пептидил-

тРНК) [9]. Это означало, что его изменение приведет к потере активности фактора, но не помешает ему связываться с рибосомой, поврежденный белок превратится в ингибитор терминации. Сам трипептид GGQ должен находиться в большой субчастице рибосомы, в области ее пептидилтрансферазного

центра. При экспериментальной проверке все эти следствия полностью подтвердились.

Таким образом, удалось показать, что GGQ служит активным центром факторов класса-1 (у прокариот и эвкариот) и, располагаясь в пептидилтрансферазном центре, катализирует расщепление эфирной связи в пептидил-тРНК. Интересно, что ключевая роль этого трипептида в терминации обеспечивается в первую очередь двумя глициновыми остатками, а не глутамином [10–15]. Возможно, что отсутствие у глицина боковой группы освобождает пространство для молекулы воды, участвующей в гидролизе пептидил-тРНК, поскольку замены глициновых остатков на более объемные неизменно ведут к утрате активности у мутантных RF.

## Как факторы узнают стоп-кодона?

Фактор класса-1 катализирует гидролиз, только если в А-участке малой субъединицы присутствует один из трех стоп-кодонов. Иными словами, внутри рибосомы сигнал от стоп-кодона (находящегося в малой субчастице) к пептидилтрансферазному центру (расположенному в большой рибосомной субчастице) передается через GGQ-мотив. Как такая передача может осуществляться? Согласно одной гипотезе, стоп-кодон специфически связывается с участком малой рибосомной РНК, а фактор играет лишь вспомогательную роль. Согласно другой, стоп-кодон взаимодействует с «узнающим» трипептидом фактора класса-1. В первом случае главную роль в передаче сигнала играет рибосома, а во втором — фактор класса-1. На основании совместных опытов с французскими [16] и японскими [17] исследователями мы отдали предпочтение второй гипотезе. Оказалось: если в пробирке создать «гибрид» из рибосомы, умеющей «считывать» все

три стоп-кодона, и фактора класса-1, выделенного из организма, где используются только один или два стоп-кодона, то результат будет зависеть от природы фактора. Отсюда можно предполагать прямой контакт eRF1 со стоп-кодоном в рибосоме. Действительно, используя синтезированные триплеты с химически модифицированными группами, мы совместно с парижскими и новосибирскими коллегами доказали, что они образуют ковалентную связь с молекулой eRF1 внутри рибосомы [18, 19]. Это возможно лишь в том случае, если они сближены внутри рибосомы. Аналогичные результаты были получены другими исследователями для факторов класса-1 и рибосом бактерий. Следовательно, факторы класса-1 должны иметь участок, специфически узнающий в рибосоме стоп-кодона мРНК.

Недавно такой участок удалось найти у RF1 и RF2 бактерий [20]. Это были трипептиды, но разные (поскольку RF1 узнает UAG, а RF2 — UGA, а UAA узнают оба фактора). Пока не показано, находятся ли они в непосредственном контакте со стоп-кодоном в рибосоме. Однако результат ничего не дал для понимания терминации у эвкариот, поскольку первичные и пространственные структуры этих факторов класса-1 у двух царств живой природы устроены по-разному.

Исходя из того, что расстояние между стоп-кодоном и пептидилтрансферазным центром рибосом составляет примерно 75 Å (это вытекает из формы и размеров тРНК и данных рентгеноструктурного анализа рибосом прокариот), узнающий участок может располагаться либо на N-концевом, либо на C-концевом доменах. Второе предположение отпадает сразу же, поскольку удаление C-домена не мешает узнаванию: такой укороченный белок в пробирке в полной мере сохраняет свою активность [21]. Значит, стоп-

кодон должен узнаваться N-доменом, что подтверждается опытами с мутантным [22, 23] и «гибридным» eRF1 [17], а также данными других исследователей.

Однако пока не ясно, где именно находится этот участок, так как размер N-домена достаточно велик. В поисках ответа мы проанализировали аминокислотную последовательность факторов eRF1 из самых разных организмов (по данным из общедоступных банков). Два пептидных фрагмента, Асн-Иле-Лиз-Сер (NIKS) и Тир-Цис-Фен (Y-C-F)\*, расположены в петлях N-домена (полностью или частично), что облегчает им контакт со стоп-кодоном в рибосоме. Присутствие в пептидах консервативных и полуконсервативных аминокислотных остатков также не противоречит гипотезе о их возможной роли как узнающих стоп-кодон. Однако нужны были прямые экспериментальные доказательства, которые мы получили с помощью направленного мутагенеза.

Мы заменили в тетрапептиде NIKS каждую аминокислоту и посмотрели, как это сказывается на функциональной активности eRF1 человека. Опыты, поставленные в пробирке, дали вполне четкие результаты [22]. Замена изолейцина (I) весьма серьезно уменьшает активность мутантного белка; эффект от замены лизина (K) гораздо мягче; крайние аминокислоты аспарагин (N) и серин (S) занимают промежуточные положения. В целом, фрагмент NIKS безусловно функционально важен, но утверждать на основании наших данных, что именно он узнает весь стоп-кодон, вряд ли правильно.

Совершенно иную картину мы получили, когда анализировали участок Y-C-F [23]. При замене цистеина (C) или фенилаланина (F) на другие аминокислоты ответ на стоп-

\* Тире означают, что между этими инвариантными аминокислотами находятся другие, варьирующие.

кодон УГА почти не менялся, а на УАА и УАГ падал очень сильно. Более того, если к каждой из этих мутаций добавить еще по одной — по аспарагину (N), стоящему между С и F, то eRF1 человека становится похожим на eRF1 реснитчатых простейших. У них фактор узнает только УГА, а два других триплета (УАА и УАГ) превращаются в значащие, кодирующие аминокислоты. Такие белки, узнающие только один стоп-кодон, называют унипотентными, в отличие от omnipotentных eRF1 высших эвкариот.

Итак, направленное изменение структуры eRF1 в области Y—C—F-петли привело к потере узнающей способности фактора в отношении двух стоп-кодонов, сохранив ее в отношении третьего, УГА. Значит, и цистеиновый, и фенилаланиновый остатки, безусловно, участвуют в узнавании стоп-кодонов, хотя пока не известно, прямо или косвенно. Поскольку у двух триплетов, УАА и УАГ, в отличие от УГА, общий элемент — второй нуклеотид (аденин), вполне воз-

можно, что именно в его узнавании участвуют цистеин и фенилаланин.

Однако такой вывод противоречит тому известному обстоятельству, что в организмах с вариантными генетическими кодами (реснитчатых простейших) узнается только часть стоп-кодонов, а эти аминокислоты тем не менее присутствуют в структуре их факторов. Чтобы объяснить такую ситуацию, мы предложили концепцию негативных элементов, которые препятствуют у реснитчатых участию цистеина и/или фенилаланина в узнавании стоп-кодонов (возможно, аденина во втором положении). Действительно, если посмотреть на аминокислоты, окружающие цистеин и фенилаланин слева и справа, видно (рис.3), что они у организмов с универсальным генетическим кодом (высших эвкариот) отличаются от таковых с вариантными кодами. Некоторые из этих аминокислот могли бы выполнять роль таких негативных элементов. Разумеется, наше предположение требует

экспериментальной проверки. Однако нечто подобное достаточно хорошо изучено на примере тРНК и аминоацил-тРНК-синтетаз, где в тРНК отдельные нуклеотиды как раз и служат негативными элементами.

Превращение omnipotentного фактора (eRF1 человека) в унипотентный (характерный для некоторых простейших эвкариот, узнающий только УГА), осуществленное с помощью точечного мутагенеза, скорее всего имитирует процесс, происшедший в живой природе десятки миллионов лет назад. Согласно воззрениям эволюционистов, организмы с вариантными кодами произошли от организмов с универсальным (стандартным) генетическим кодом, а не наоборот. Иными словами, раньше факторы терминации реснитчатых умели узнавать все стоп-кодоны, а потом «разучились». Можно ли каким-либо способом убедиться, что такой потенциал у них сохранился? Оказалось, что универсальность узнавания можно вернуть, причем крайне просто — изменив

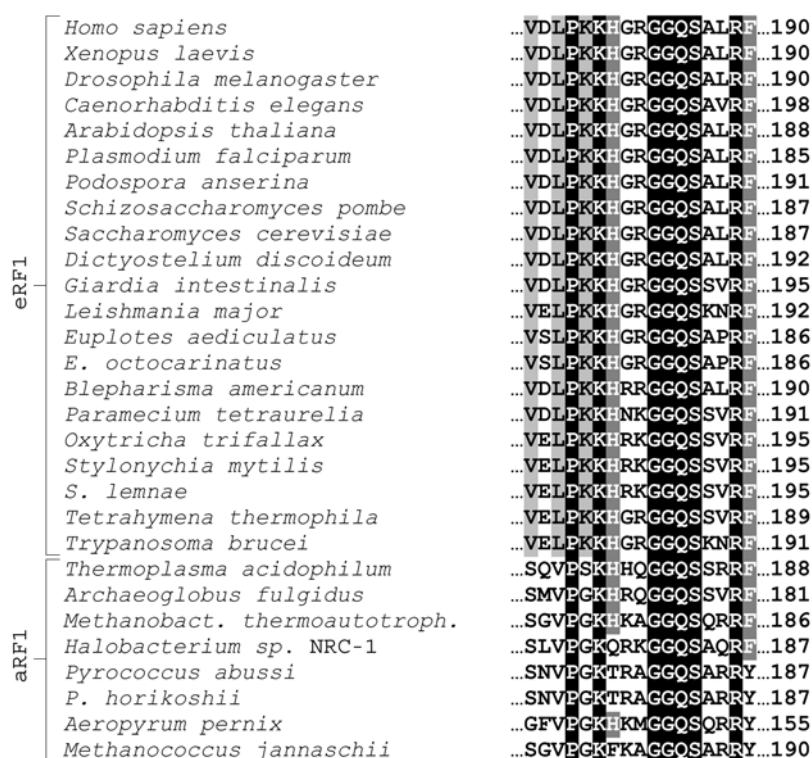
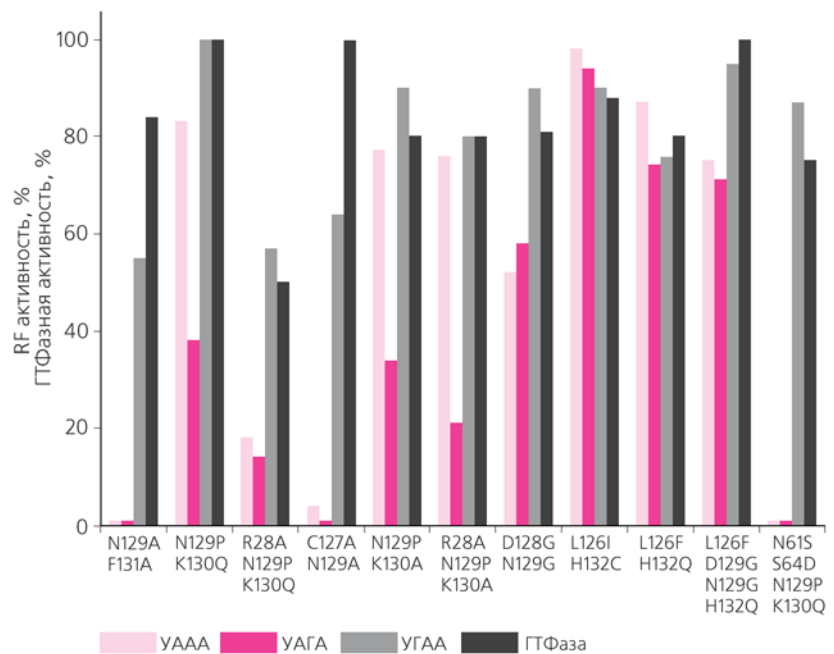


Рис.3. Сравнение аминокислотных последовательностей (в однобуквенном аминокислотном коде) факторов класса-1 в местах расположения инвариантного трипептида GGQ (из базы данных NCBI-Eutrer Proteins). Очевидно, что этот элемент присутствует во всех белках класса-1 от эвкариот до архебактерий.



Рис.4. Функциональная активность мутантов eRF1 человека в сравнении с исходным фактором по двум тестам: освобождению полипептида и тройной ГТФазной активности (в тесте использовали тетрапептиды для улучшения их связывания с рибосомой). Мутации указаны под столбиками в однобуквенном аминокислотном коде; слева — исходная аминокислота (числа обозначают ее порядковый номер), справа — мутантная. Видно, что с помощью двойных и четверных мутаций omnipotentный фактор превращается в unipotentный (узнает только УГА).



температуру культивирования организма [17]. Этот опыт вместе с другими подтверждает два предположения: во-первых, между факторами терминации из организмов с универсальными и вариантными кодами нет пропасти (при некоторых обстоятельствах они взаимно превращаемы). Во-вторых, если нейтрализовать действие негативных элементов (в данном случае изменением температуры), узнаются все стоп-кодона.

Согласно гипотезе белкового антикодона, предложенной для прокариот, трипептиды PAT (Про-Ала-Тре) в RF1 или SPF (Сер-Про-Фен) в RF2 узнают по два стоп-кодона из трех [20]. Применима ли концепция белкового антикодона (т.е. короткой линейной последовательности аминокислот, узнающей тринуклеотид) к eRF1?

Наши опыты скорее говорят об обратном [23]. Превращение omnipotentного фактора в unipotentный удалось достичь, не только меняя цистеин или фенилаланин, но и другие аминокислоты в двух минидоменах NIKS и Y-C-F одновременно. Изменения по отдельности в каждом из них недостаточны

для подобного эффекта (рис.4). Значит, два минидомена, разнесенных в пространстве, при узнавании стоп-кодонов взаимодействуют друг с другом. Это уже не линейная непрерывная последовательность аминокислот, как предполагается для RF1 и RF2. Видимо, помимо глубоких отличий в структуре факторы класса-1 прокариот и эукариот различаются и по механизму узнавания.

## Новый метод

Изучение молекулярного механизма терминации нуждается в адекватных экспериментальных подходах. Методы, которыми пользуются многие исследователи, для этих целей уже недостаточно совершенны. Сегодня необходим метод, который объединял бы условия опыта *in vivo*, существующие в клетке, и *in vitro* — в пробирке, когда экспериментатор может менять условия опыта по своему желанию. Решая такую непростую задачу [24], мы опирались на показанную нами вместе с французскими исследователями *in vitro* конкуренцию за стоп-кодона

между eRF1 и супрессорными тРНК [25], которые могут «читать» стоп-кодона как значащие (кодирующие ту или иную аминокислоту). Этот принцип позволяет оценивать количественно свойства как eRF1 (и, разумеется, его мутантов), так и супрессорных тРНК. В качестве матрицы, которая связывалась с рибосомами, мы использовали копию гена люциферазы (фермента, воздействие которого на субстрат приводит к испусканию кванта света). Если матрица «считывается» полностью, образуется активный белок, который заставит люциферин (субстрат) хорошо светиться в рибосомной системе, снабженной всеми необходимыми компонентами. Если же в матрицу вставить стоп-кодон, синтез полипептида обрывается, и свечения субстрата нет. Добавляя в такую систему eRF1, супрессорные тРНК и их смеси, можно «по заказу» менять интенсивность синтеза люциферазы и по свечению измерять ее активность. Эта же система годится и для изучения свойств и активности eRF3.

Теперь мы имеем такой метод оценки свойств eRF1, кото-

рый в дальнейшем позволит поновому мерить кинетику термации и осуществлять варианты анализа, нереальные при использовании традиционных подходов.

## Возможности молекулярной терапии

Феномен конкуренции eRF1 и супрессорных tРНК [24, 25] натолкнул нас еще на одну идею, относящуюся к биомедицине или, как сейчас модно говорить, к молекулярной медицине. Многие наследственные болезни связаны с тем, что в результате повреждения гена один из значащих триплетов превращается в незначащий (такие мутации называют нонсенс-мутациями). Этот стоп-кодон, попадая в мРНК, приводит к синтезу укороченного белка, который, как правило, биологически неактивен.

Теоретически существуют два принципиально разных пути устранения такого дефекта. Первый — генотерапия, т.е. замещение поврежденного гена нормальным, не содержащим в кодирующей области стоп-кодона. Методы генотерапии сейчас активно разрабатываются, но, к сожалению, до сих пор без особого успеха. Второй путь связан с исправлением генного продукта — белка.

Как можно вылечить больной белок? Очевидно, нужно не дать сработать стоп-кодону внутри мРНК (т.е. обеспечить достройку полипептидной цепи до конца), что возможно двумя способами. Первый — блокировать каким-либо образом eRF1 (например, добавив к нему антитела или соответствующий ингибитор). Терминация будет ослаблена, и в действие вступят супрессорные tРНК, которые в небольших количествах всегда присутствуют в клетках высших организмов. Второй — внести в систему супрессорные tРНК, которые за счет конкуренции вытеснят eRF1 из А-участка ри-

босомы, а стоп-кодон будет прочитан как значащий. Это, скорее всего, приведет к синтезу полноразмерного белка с нормальной активностью.

Оба подхода реализованы нами экспериментально. С помощью популярного метода *Selex* мы совместно с учеными США получили набор коротких молекул РНК (аптамеров), которые блокируют активность фактора eRF1 *in vitro* [26]. Есть надежда, что если такие ингибиторы-аптамеры ввести в клетки больного, терминация будет ослаблена и больной белок выделится.

Совместно с Институтом акушерства и гинекологии им.Д.О.Отта РАМН в Санкт-Петербурге [27] на мышах, у которых поврежден ген, кодирующий белок дистрофин, мы показали, что после введения гена супрессорной tРНК в мышечные клетки в них появляется дистрофин. Иными словами, когда в клетках возрастает концентрация супрессорной tРНК, eRF1 вытесняется из А-участка рибосомы и часть полипептидных цепей считывается до конца, без обрыва на месте стоп-кодона.

Таким образом, способы воздействия на терминацию в принципе могут стать основой молекулярной терапии всех наследственных и ненаследственных дефектов белков, связанных с преждевременным завершением синтеза. Конечно, предстоит преодолеть еще много трудностей на этом пути, и до лечения больных пока далеко. Однако впервые в истории медицины появились, по крайней мере идеи о том, как можно подступить к болезням, которые до сих пор считались неизлечимыми.

Помимо своей основной функции — участия в передаче сигнала от стоп-кодона к пептидилтрансферазному центру рибосомы eRF1 играют еще одну важную роль: они активируют ГТФазную активность фактора eRF3 класса-2. Факторы eRF1 и eRF3 человека взаимодейству-

ют друг с другом своими С-концевыми участками, образуя достаточно прочные комплексы, они обнаружены как *in vitro*, так и *in vivo*, причем независимо от присутствия рибосом и стоп-кодонов [21, 28, 29]. У эвкариот eRF3 катализирует расщепление ГТФ только при одновременном присутствии рибосом и eRF1 [7]. Такая же ГТФазная активность отмечена и для бактериальных факторов RF3. Однако если eRF1 и eRF3 *in vitro* дают достаточно прочный комплекс, то у прокариот такого комплекса пока никто не получил.

После обнаружения этого феномена появились две гипотезы [30] о возможной роли факторов класса-1 в отношении факторов класса-2. Согласно первой, она заключается в активации фермента путем «достройки» его активного центра. Вторая гипотеза постулирует, что факторы класса-1, связываясь с ГТФазами, резко ускоряют обмен ГТФ—ГДФ на ферменте, что увеличивает каталитическую активность. Первая гипотеза еще нуждается в экспериментальной проверке [31], вторая — экспериментально подтверждена для бактериального eRF3 [32].

\* \* \*

Подведем краткие итоги 10-летнего изучения терминации белкового синтеза у эвкариот. Раскрыта структура (первичная, вторичная, пространственная) белка eRF1 — фактора терминации класса-1. Установлено, что он определяет специфичность считывания стоп-кодонов, взаимодействуя своим N-концевым доменом со стоп-кодоном в рибосоме. Выявлены аминокислоты, существенные для функций eRF1 в рибосоме. Доказано, что универсальный инвариантный трипептид Гли-Гли-Гли играет решающую роль при расщеплении пептидил-тРНК. Феномен конкуренции между eRF1 и супрессорными tРНК за стоп-кодон в А-участке рибосомы лег в основу нового метода определения активности

фактора и нового подхода к лечению наследственных болезней человека, связанных с нонсенс-мутациями. Получены избирательные ингибиторы eRF1 (РНК-аптамеры). Установлены первичная структура и биологическая функция фактора термации класса-2 — eRF3. Обнару-

жен контакт между факторами двух классов eRF1 и eRF3 *in vitro* и *in vivo* и раскрыт механизм их взаимодействия через С-концевые домены этих белков. Сформулирована гипотеза о биологической роли eRF3 в клетках. На молекулярном уровне определены различия между терми-

нацией белкового синтеза у прокариот и эукариот. Достижения российской физико-химической биологии в этой области полностью признаны мировым научным сообществом, что легко проследить по недавним обзорам этой проблемы [30, 31, 33–36]. ■

## Литература

1. Киселев ЛЛ. Детективная история из жизни молекулярных биологов // Природа. 1993. №7. С.91–95.
2. Frolova L., Dalphin M., Justesen J. et al. // EMBO J. 1993. V.12. P.4013–4019.
3. Frolova L., Goff X. le., Rasmussen H.H. et al. // Nature. 1994. V.372. P.701–703.
4. Киселев ЛЛ., Опарина Н.Ю., Фролова Л.Ю. // Молекуляр. биология. 2000. Т.34. С.427–441.
5. Grentzmann G., Brechemier-Baey D., Heurgue V. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1994. V.91. P.5848–5852.
6. Zhouravleva G., Frolova L., Goff X.le et al. // EMBO J. 1995. V.14. P.4065–4072.
7. Frolova L., Goff X.le, Zhouravleva G. et al. // RNA. 1996. V.2. P.334–341.
8. Freistoffer D.V., Pavlov M.Y., MacDougall J. et al. // EMBO J. 1997. V.16. P.4126–4133.
9. Frolova L.Y., Tsvikovskii R.Y., Sivolobova G.F. et al. // RNA. 1999. V.5. P.1014–1020.
10. Сеут-Неби А., Фролова Л., Иванова Н. и др. // Молекуляр. биология. 2000. Т.34. С.899–900.
11. Seit-Nebi A., Frolova L., Justesen J., Kisselev L. // Nucl. Acids Res. 2001. V.29. P.3982–3987.
12. Song H., Mugnier P., Das A.K. et al. // Cell. 2000. V.100. P.311–321.
13. Zavialov A.V., Mora L., Buckingham R.H. et al. // Mol. Cell. 2002. V.10. №4. P.789–798.
14. Mora L., Heurgue-Hamard V., Champ S. et al. // Mol. Microbiol. 2003. V.47(1). P.267–275.
15. Janzen D.M., Frolova L., Geballe A. // Mol. Cell. Biol. 2002. V.22. №24. P.8562–8570.
16. Kervestin S., Frolova L., Kisselev L. et al. // EMBO Rep. 2001. V.2. P.680–684.
17. Ito K., Frolova L., Seit-Nebi A. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2002. V.99. P.8494–8499.
18. Chavatte L., Frolova L., Kisselev L. et al. // Eur. J. Biochem. 2001. V.268. P.2896–2904.
19. Bulygin K.N., Repkova M.N., Ven'yaminova A.G. et al. // FEBS Letters. 2002. V.514. P.96–101.
20. Ito K., Uno M., Nakamura Y. // Nature. 2000. V.403. P.680–684.
21. Frolova L.Y., Merkulova T.I., Kisselev L.L. // RNA. 2000. V.6. P.381–390.
22. Frolova L., Seit-Nebi A., Kisselev L. // RNA. 2002. V.8. P.129–136.
23. Seit-Nebi A., Frolova L., Kisselev L. // EMBO Rep. 2002. V.3. P.881–886.
24. Мазур А.М., Холод Н.С., Сеут-Неби А.С. и др. // Молекуляр. биология. 2002. Т.36. С.129–135.
25. Drugeon G., Jean-Jean O., Frolova L. et al. // Nucleic Acids Res. 1997. V.25. P.2254–2258.
26. Carnes J., Frolova L., Zinnen S. et al. // RNA. 2000. V.6. P.1468–1479.
27. Киселев А.В., Остапенко О.В., Рогожкина Е.В. и др. // Молекуляр. биология. 2002. Т.36. С.43–47.
28. Frolova L., Simonsen J., Merkulova T. et al. // Eur. J. Biochem. 1998. V.256. P.36–44.
29. Merkulova T.I., Frolova L.Y., Lazar M. et al. // FEBS Lett. 1999. V.443. P.41–47.
30. Buckingham R., Grentzmann G., Kisselev L. // Mol. Microbiol. 1997. V.24. P.449–456.
31. Kisselev L.L., Ebrenberg M., Frolova L.Yu. // EMBO J. 2003. V.22. №2. P.175–182.
32. Zavialov A.V., Buckingham R.H., Ebrenberg M. // Cell. 2001. V.107. P.115–124.
33. Kisselev L.L., Buckingham R.H. // Trends Biochem. Sci. 2000. V.25. P.561–566.
34. Ebrenberg M., Tenson T. // Nature Struct. Biol. 2002. V.9. P.85–87.
35. Janzen D.M., Geballe A.P. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. Cold Spring Harbor, 2001. P.459–467.
36. Kisselev L.L. Structure. 2002.



# Аллотропия углерода

Р.Б.Хайманн, С.Е.Евсюков

**Н**адо ли напоминать, что все живое на Земле построено из соединений углерода, что их синтез и распад, превращение одних веществ в другие — основа основ биохимических событий в любой клетке любого организма. Это известно каждому. Как индивидуальный химический элемент углерод был признан Лавуазье в конце XVIII в. и получил свое название (Carboneum) от латинского carbo — уголь. Ни один элемент Периодической системы Менделеева не обладает тем разнообразием свойств, иногда прямо противоположных, которое присуще углероду. Это эталон прозрачности и «абсолютно» черное тело; диа- и парамагнетик; диэлектрик и металл; полупроводник и полуметалл; сверхтвердый и сверхмягкий материал; теплоизолятор и один из лучших проводников тепла. Столь уникальные свойства — причина того, что и чистый углерод, и содержащие его материалы служат объектами фундаментальных исследований и применяются в бесчисленных технических процессах. Все это ярко свидетельствует о его огромной важности для цивилизации.

Значение углерода в современной науке и технике трудно переоценить. П.Уокер, бывший редактором книжной серии «Chemistry and Physics of Carbon», 30 лет на-



**Роберт Б.Хайманн**, доктор минералогии, профессор, заведующий кафедрой Института минералогии при Техническом университете «Фрайбергская горная академия» (Германия). Научные интересы, лежащие на стыке минералогии, кристаллографии и материаловедения, включают синтез и изучение свойств кристаллов и минералов, физикохимию углерода, разработку керамических материалов и покрытий для высоких технологий и медицины, археометаллургию.



**Сергей Евгеньевич Евсюков**, кандидат химических наук, до 1998 г. был старшим научным сотрудником Института элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова РАН. Сейчас руководит лабораторией на фирме «instrAction GmbH» (Людвигсхафен, Германия). Научные интересы связаны с исследованиями полимеров разных классов, химических превращениями полимеров, биосовместимыми полимерными материалами, линейными аллотропными формами углерода и новыми углеродными материалами.

зад писал, что прогресс в разработке новых углеродных материалов будет продолжаться как глава всеобщей истории материаловедения и называл углерод «старым, но всегда новым материалом». Это выражение, не потерявшее своей

актуальности и сегодня, многократно подтверждалось в течение всех минувших лет, и особенно последних десяти.

До начала 60-х годов считалось, что в природе существуют только две кристаллические фор-

мы чистого углерода, а именно трех- и двумерные полимеры, т.е. алмаз и графит. Даже «аморфный» углерод долго причислялся к простым формам. Однако к настоящему времени установлено, что по своей структуре в саже, коксе, стеклообразном углероде и им подобных материалах он в разной степени приближается к графиту. Многие исследователи выражали недоумение и считали несколько нелогичным, что существование элемента с самой богатой химией из всей Периодической системы ограничивается лишь двумя аллотропными модификациями. Явно не хватало линейной формы. Правда, в конце XIX в. немецкий химик А.Байер пытался синтезировать ее из производных ацетилена, но удача не сопутствовала ему. Одномерный (цепочечный) полимер оставался недостающим звеном в аллотропии углерода вплоть до 1960 г., когда в Институте элементоорганических соединений А.М.Сладковым с сотрудниками был открыт карбин — полилиновая, или полиацетиленовая  $(-C\equiv C-)_n$ , и кумуленовая  $(=C=C=)_n$  формы линейного углерода [1]. Название карбин несколько неудачно, так как совпадает с термином, принятым для обозначения органических триадиалков Международным союзом фундаментальной и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC). Несмотря на это, название быстро укоренилось и широко используется до настоящего времени исследователями, которые занимаются линейными формами углерода.

Время от времени публикуются научные статьи, в которых авторы заявляют о синтезе новой кристаллической формы или аллотропной модификации углерода. В 1985 г. было открыто большое семейство сферообразных углеродных молекул — фуллеренов [2]. Во всем мире это дало новый и очень сильный толчок исследованиям в области углерода и его аллотропных форм, а авторам открытия через 11 лет — в 1996 г. — принесло Нобелевскую премию по химии [3]. Впоследст-

вии семейство фуллеренов выделили в независимую, часто называемую третьей, аллотропную форму углерода. Можно ли считать их самостоятельной аллотропной модификацией и что представляет собой множество других форм, число которых непрерывно увеличивается и которые исследователи относят к индивидуальным аллотропным?

При попытке понять это возникают два важных вопроса:

— сколько независимых аллотропных форм элементарного углерода может существовать в природе,

— по каким критериям их следует выделять из множества других углеродных материалов?

Чтобы ответить на эти вопросы, обратимся сначала к понятиям аллотропии, полиморфизма и политипизма, поскольку нельзя исключить ошибок в классификации, не дав точного определения таким понятиям.

Аллотропия — это существование по крайней мере двух форм одного и того же элемента в твердом кристаллическом состоянии, которые отличаются пространственным расположением атомов [4]. Поскольку взаимные превращения аллотропных форм связаны с изменением уравнения состояния вещества, его энергии, термин «аллотропия» следует использовать исключительно в термодинамическом смысле. Понятие полиморфизма имеет в большей мере кристаллографическое значение, так как включает структурные и морфологические изменения. А частный случай одномерного полиморфизма, характерного для некоторых плотноупакованных и слоистых структур, представляет собой политипизм. Это способность вещества кристаллизоваться в виде нескольких модификаций, каждая из которых при двух идентичных параметрах элементарной ячейки отличается лишь третьим, зависимым чаще всего от расстояния между соседними слоями. Политипизм нередко проявляется в структурах, эквивалентных кубической и гексагональной плот-

ной упаковке атомов. В политипных модификациях ближайшее атомное окружение одинаково, а различия обусловлены характером вторых (или даже более удаленных) координационных сфер. Поэтому величины энергии их кристаллических решеток почти равны и, следовательно, очень похожи физические свойства.

Из приведенных понятий аллотропии, полиморфизма и политипизма видно, что они перекрываются и потому трудно вычленишь аллотропию, особенно для углерода. Видимо, буквальное понимание того определения, которое дано У.Эддисоном [4], и есть результат открытия огромного и непрерывно увеличивающегося числа аллотропных форм углерода. Не станет ли яснее ситуация, если помимо пространственного расположения атомов углерода учитывать тип химических связей между ними, т.е. тип гибридизации валентных орбиталей [5]? Мы использовали именно это дополнение в качестве отличительной черты аллотропных форм углерода и получили удобную классификационную схему, а затем и третичную диаграмму, которые объединяют в себе все существующие углеродные материалы и те, что пока относят к гипотетическим [6].

Отличительная особенность углерода — способность его *s*- и *p*-валентных электронов образовывать гибридные (смешанные) электронные орбитали в различных пропорциях. Этим и объясняется многообразие его химических соединений.

Известно, что атомы углерода могут существовать в трех основных состояниях, соответствующих  $sp^3$ -,  $sp^2$ - и  $sp$ -гибридизации их валентных орбиталей. Каждое валентное состояние характеризует определенную и единственную аллотропную форму (рис. 1):  $sp^3$ -тип гибридизации свойствен пространственному (трехмерному) полимеру углерода — алмазу;  $sp^2$ -тип — плоскостному (двумерному) графиту;  $sp$ -тип — линейно-цепочечному (одномерному) карбину. Согласно этой классификации, фуллерены должны иметь ну-





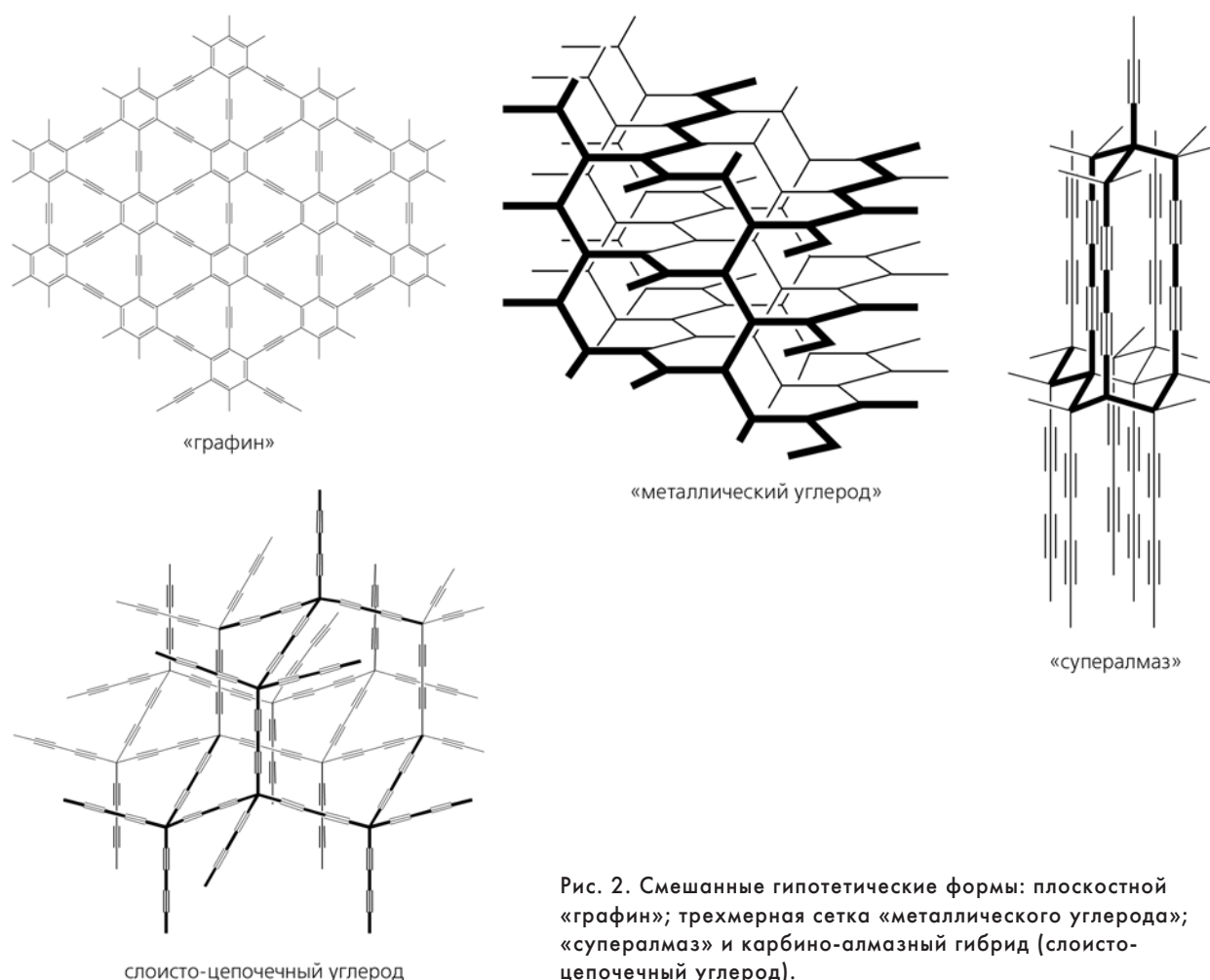


Рис. 2. Смешанные гипотетические формы: плоскостной «графин»; трехмерная сетка «металлического углерода»; «супералмаз» и карбино-алмазный гибрид (слоисто-цепочечный углерод).

Вторая группа объединяет промежуточные формы углерода (рис. 3). Степень гибридизации углеродных атомов в них можно выразить как  $sp^n$ , где  $n$  не целое, а дробное число:  $1 < n < 3$ ,  $n \neq 2$ . Эту группу в свою очередь можно разделить на две подгруппы. Первая из них включает углеродные моноциклы, в которых  $1 < n < 2$ . Другую подгруппу составляют промежуточные формы с  $2 < n < 3$ : различные замкнуто-каркасные структуры, такие как фуллерены [12] и углеродные нанотрубки, или тубулены [13].

Дробная степень гибридизации в промежуточных формах — следствие изогнутости и напряженности углеродного скелета. Например, в молекуле  $C_{60}$ , наиболее детально изученного члена семейства фуллеренов, она равна

2,28 [14]. Некоторые гипотетические формы в виде полициклических углеродных сеток могут быть тоже приписаны к промежуточным при условии, что они содержат напряженные циклы (рис. 4).

В некоторых случаях, однако, наряду с геометрическими параметрами следует принимать во внимание и электронные взаимодействия. Например, структура «металлического углерода», состоящая из регулярно сшитых гофрированных слоев ортогональных полиеновых цепочек (см. рис. 2), свободна от угловых напряжений, но не свободна от электронных « $\pi$ -напряжений».  $\pi$ -Облака соседних полиеновых цепочек из-за поперечных сшивок вынуждены находиться слишком близко друг к другу, делая тем самым всю структуру «металлической» [15].

Приведенные здесь аллотропные формы углерода укладываются в созданную нами общую схему классификации и родственную ей, более наглядную, третичную диаграмму (рис. 5). И та и другая основаны на типе гибридизации валентных орбиталей углерода. Эта диаграмма объединяет в себе основные аллотропные формы (существующие и предполагаемую), а также все переходные (как смешанные, так и промежуточные). В вершинах треугольника располагаются алмаз (вместе с лонсдейлитом), графит и карбин, а по сторонам и внутри — переходные формы.

Структуры со степенью гибридизации  $sp^n$  ( $2 < n < 3$ ) находятся вдоль стороны  $sp^2$ – $sp^3$  (т.е. между графитом и алмазом) и объединяют фуллерены, алмазо-графитные

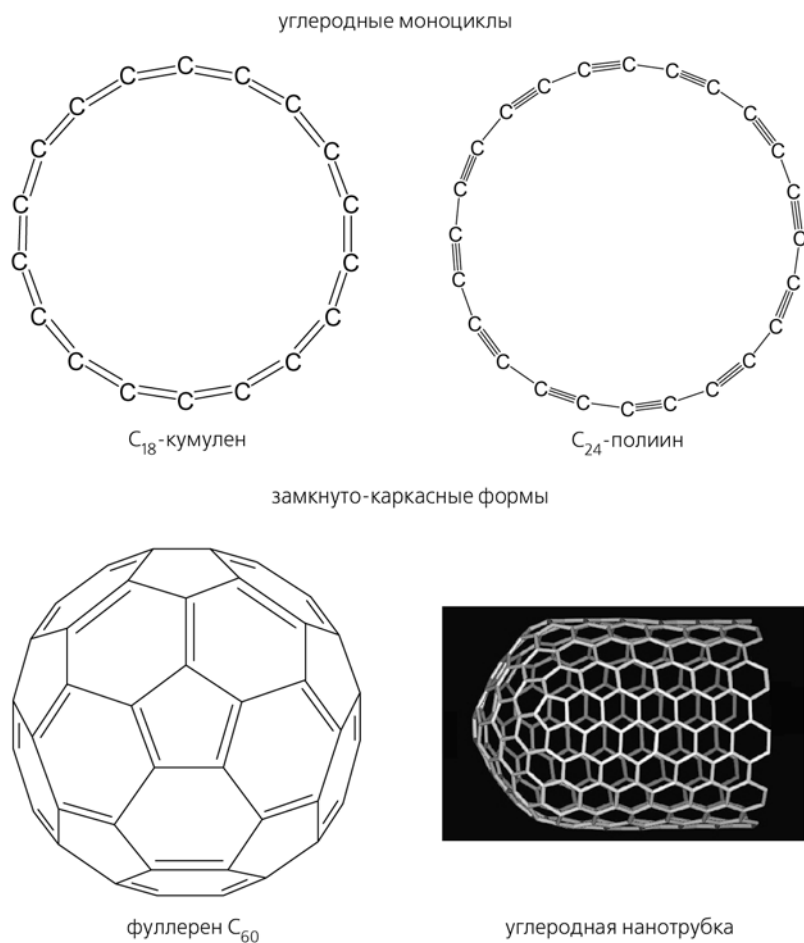


Рис. 3. Промежуточные формы углерода: углеродные моноциклы и замкнуто-каркасные структуры.

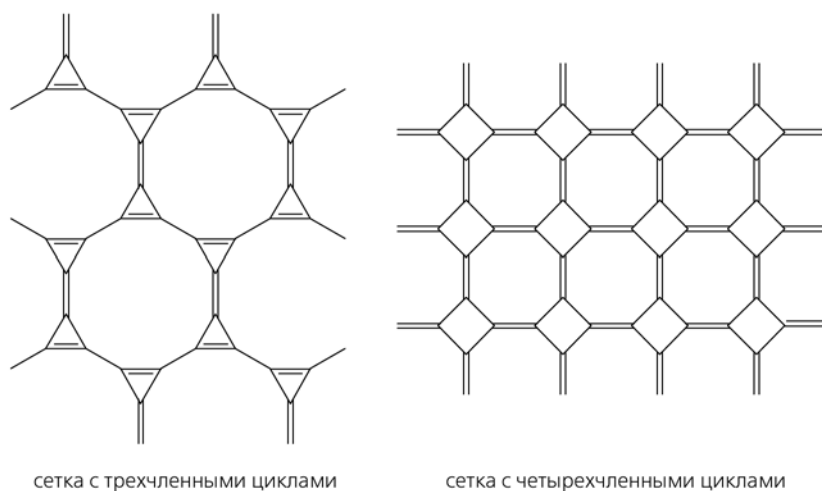


Рис. 4. Гипотетические формы в виде полициклических сеток с напряженными трех- и четырехчленными циклами.

гибриды и углеродные нанотрубки. Положение каждого члена  $C_x$  семейства фуллеренов на стороне  $sp^2-sp^3$  зависит от соотношения пяти- и шестичленных циклов (или пента- и гексагонов,  $P/G$ ) в их молекулах. Если соотношение стремится к 0, это соответствует  $sp^2$ -гибридизации, т.е. чистому графиту. При отсутствии шестичленных циклов  $P/G \rightarrow \infty$ , как в «алмазоподобном» кластере  $C_{20}$ , состоящем только из пентагонов. Вследствие нарушения правила изолированных пятичленных циклов кластер  $C_{20}$  нестабилен и можно было бы ожидать его коллапса, превращения в алмазную структуру. И действительно, было установлено, что при осаждении углеродных кластеров такого размера ( $\sim C_{20}$ ), полученных методом лазерной возгонки, на подложке образуется алмазоподобный углерод с почти чистой  $sp^3$ -гибридизацией.

На стороне треугольника  $sp-sp^2$  (между карбином и графитом) тоже располагаются углеродные формы со степенью гибридации  $sp^n$ , но при  $1 < n < 2$ . К таким формам относятся моно[ $N$ ]циклы, где  $N$  — количество атомов углерода в цикле, равное 18, 24, 30 и т.д. [10, 11]. Предполагается, что реакции этих форм играют ключевую роль в образовании фуллеренов. Когда плоские углеродные циклы сливаются, возникают новые полициклические структуры, способные конденсироваться с образованием фуллеренов. Если же растут дальше, то могут снова участвовать в процессах полимеризации или служить центрами нуклеации — «зародышами», из которых возникают углеродные нанотрубки. Полииновые цепочки (в них чередуются одинарные и тройные связи) могут сворачиваться спиралью вокруг конденсированных ароматических фрагментов и подвергаться серии последовательных реакций шивки наподобие застёжки «молния». И в этом случае тоже образуются фуллерены.

Углеродные формы в виде напряженных полициклических сеток с высокой степенью конденсации представляют собой «графиты», плоские многослойные струк-

туры. Они получают, если одну треть углерод-углеродных связей в шестичленных циклах графита заменить  $sp$ -гибридованными ацетиленовыми ( $-C\equiv C-$ ) фрагментами. Плоские слои «графина» связаны между собой, как и в графите, ван-дер-ваальсовыми взаимодействиями. В отличие от этого, гипотетические карбино-графитовые гибридные формы, приписываемые к так называемому слоисто-цепочечному углероду, построены из высоконапряженных графитовых слоев, которые частично соединены короткими углеродными цепочками в направлении кристаллографической оси  $c$  [16].

Третья сторона ( $sp-sp^3$ ) треугольника, идущая от карбина к алмазу, до настоящего времени еще слабо охарактеризована. Помимо архетиповых аллотропных форм (алмаза и лонсдейлита) с  $sp^3$ -гибридизацией, обнаружена еще одна  $sp^3$ -форма, названная суперкубаном, или  $C_8$ . По плотности она превышает даже алмаз. Изначально рассчитанные длины связей в кубах ( $1.42 \text{ \AA}$ ) и между ними ( $1.23 \text{ \AA}$ ) оказались слишком короткими для алмазной  $sp^3$ -гибридизации. Чтобы объяснить столь плотную упаковку атомов, была предложена альтернативная структура, аналогичная высокобарической форме кремния ( $\gamma$ -Si). Длины связей в кубах такой структуры составляют  $1.54 \text{ \AA}$ , а шестичленные углеродные циклы находятся в скрученной конформации, которая напоминает ванну [17].

Из гипотетических форм стоит упомянуть еще карбино(полиино)-алмаз. Предполагают, что он соответствует упомянутому одномерному «супералмазу» (см. рис. 2): состоит из складчатых алмазоподобных слоев, в которых конденсированные углеродные циклы имеют конформацию кресла и регулярно связаны друг с другом короткими углеродными цепочками  $sp$ -типа, перпендикулярными этим слоям [16]. Такие структуры были предложены в качестве переходных фаз при превращении графита в алмаз под действием ударной волны. Наконец, возможно также существова-

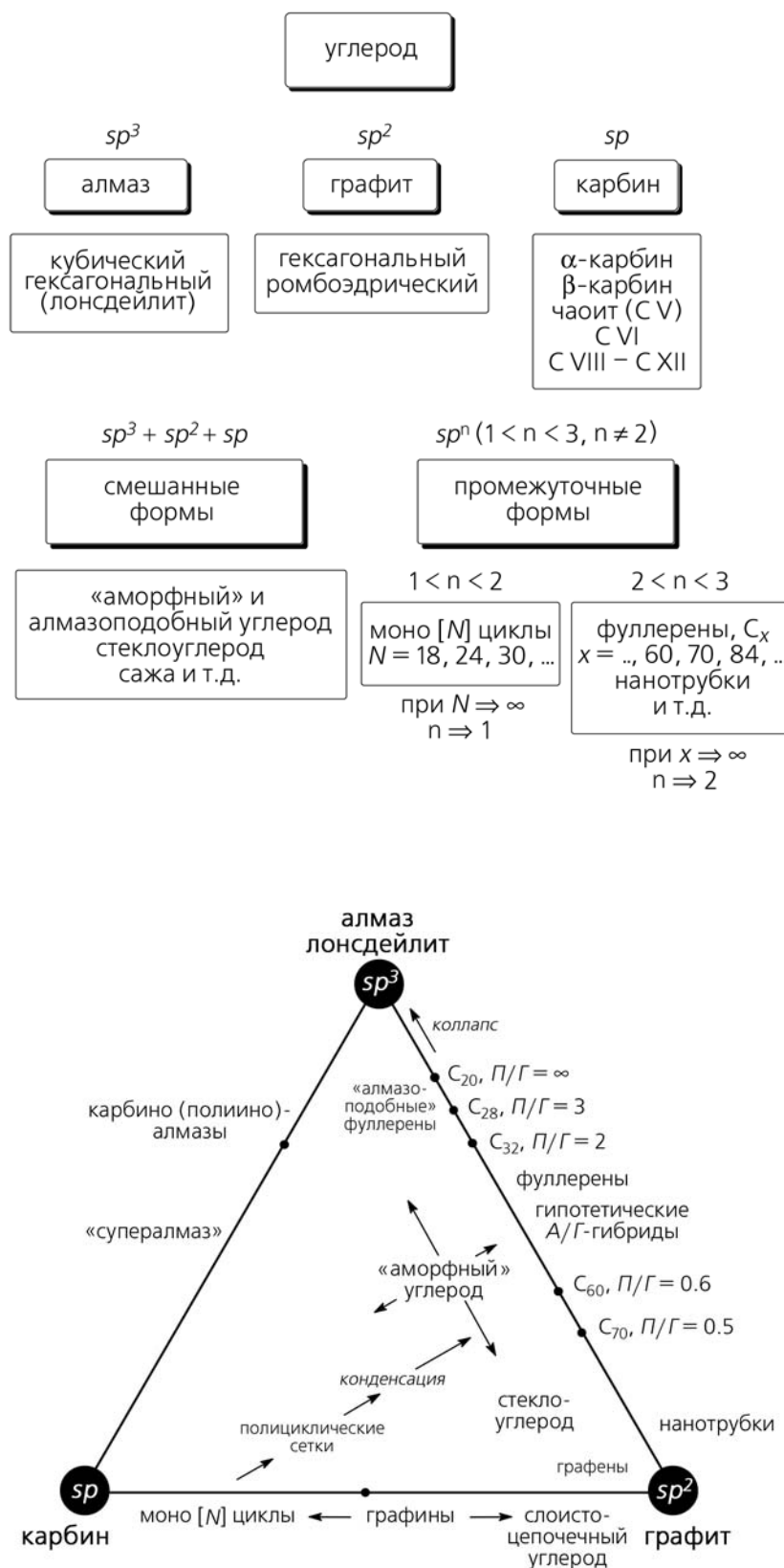


Рис. 5. Классификационная схема и третичная диаграмма аллотропных форм углерода.  $P/G$  — соотношение пента- и гексагонов;  $A/G$  — алмазо-графитные гибриды.



ние трехмерной «супералмазной» решетки, в которой все  $sp^3$ -атомы алмазной структуры соединены между собой диацетиленовыми фрагментами.

Формы углерода, расположенные внутри треугольника (см. рис. 5), характеризуются вкладом всех трех типов гибридизации в различных комбинациях. Они принадлежат главным образом к рассмотренным уже смешанным формам. К таковым относятся, в частности, «аморфный» и стеклообразный углерод с преобладанием  $sp^2$ -гибридизации. Не исключено, однако, что реально существующие комплексные углеродные материалы и углерод-углеродные композиты содержат случайно распределенные структурные элементы промежуточных типов гибридизации. Строение и количество этих элементов должны зависеть от метода и условий синтеза.

Можно представить и другие, еще более сложные углеродные материалы, состоящие из структурных элементов как смешанного, так и промежуточного типа. Подобные материалы могут быть получены, например, полимеризацией фуллереновых молекул и углеродных нанотрубок, а также

при взаимных превращениях различных форм углерода: карбина в алмаз или графит, фуллеренов в алмаз, графит или карбин.

Таким образом, разделение углеродных форм и материалов в соответствии с типом гибридизации валентных орбиталей их атомов представляется наиболее простой и удобной схемой классификации. Согласно этой схеме, все многообразие форм углерода можно условно разбить на две группы: архетиповые аллотропные с целым показателем степени гибридизации (алмаз, графит, карбин) и переходные. Последние включают смешанные формы, содержащие структурные элементы в различных комбинациях, и промежуточные формы с дробным показателем степени гибридизации (моноциклы, фуллерены, нанотрубки и др.).

Третичная диаграмма форм углерода, рассмотренная в этой статье, в полной мере отражает общность, взаимосвязь и многообразие форм углерода, демонстрируя известное в философии единство общего и особенного, единичного. Насколько во всем мире велик интерес к разнообразным углеродным формам, можно судить

хотя бы по фуллеренам. Они привлекают специалистов из самых разных областей естествознания: химиков возможностью получать громадные, тысячаатомные, молекулы и целенаправленно модифицировать их, присоединяя функциональные органические фрагменты; физиков — необычными электронными, оптическими и магнитными свойствами газообразной и твердой фаз; астрофизиков — предполагаемым присутствием в межзвездных облаках (здесь уместно упомянуть, что по иронии судьбы фуллерены были открыты при попытке синтезировать одномерные углеродные цепочки, т.е. карбиновые структуры, которые также входят в состав межзвездной материи); геологов и минералогов — существованием в очень древних карельских шунгитах. Излишне говорить о ценности и потенциальной полезности всего комплекса физико-химических свойств этих замкнуто-каркасных форм углерода для материаловедов и приборостроителей.

Можно надеяться, что недалекое будущее принесет еще много неожиданных и поразительных открытий в науке об углероде, элементе, на котором основана жизнь на Земле. ■

## Литература

1. Сладков А.М., Кудрявцев Ю.П. Алмаз, графит, карбин — аллотропные формы углерода // Природа. 1969. №5. С.37—44.
2. Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C. et al. // Nature. 1985. V.318. P.162—163.
3. Чернозатонский Л.А. // Природа. 1997. №1. С.96—99.
4. Эддисон У. Аллотропия химических элементов. Пер. с англ., М., 1966.
5. Terms concerned with carbon as chemical element and its reactivity // Proc. 5th London Int. Carbon Graphite Conf. (Sept. 18—22. 1978). 1979. V.3. P.103—108.
6. Heimann R.B., Evsyukov S.E., Koga Y. // Carbon. 1997. V.35. P.1654—1658.
7. Ман Л.И., Малиновский Ю.А., Семилетов С.А. // Кристаллография. 1990. Т.35. С.1029—1039.
8. Carbyne and Carbynoid Structures / Ed. R.B. Heimann, S.E. Evsyukov, L. Kavan. Dordrecht, 1999.
9. Касаточкин В.И. Переходные формы углерода // Структурная химия углерода и углей / Ред. В.И. Касаточкин. М., 1969. С.7—16.
10. Diederich F., Rubin Y. // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1992. V.31. P.1101—1123.
11. Diederich F. // Nature. 1994. V.369. P.199—207.
12. Fullerenes. Chemistry, Physics, and Technology / Ed. K.M. Kadish, R.S. Ruoff. N. Y., 2000.
13. Harris P.J. F. // Carbon Nanotubes and Related Structures: New Materials for the 21st Century. N. Y., 1999.
14. Haddon R.C. // Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. A — Phys. Sci. Eng. 1993. V.343. P.53—62.
15. Hoffmann R., Huggbanks R., Kertesz M., Bird P.H. // J. Am. Chem. Soc. 1983. V.105. P.4831—4832.
16. Мельниченко В.М., Нижулин Ю.Н., Сладков А.М. Слоистая структура алмаза // Природа. 1984. №7. С.22—30.
17. Johnston R.L., Hoffmann R. // J. Am. Chem. Soc. 1989. V.111. P.810—819.

# Наука и Третий рейх: борьба за ресурсы\*

М.Ю.Сорокина

**25** мая 1945 г. президент Академии наук СССР В.Л.Комаров получил из Берлина телеграмму под грифом «Только Комарову». В ней говорилось: «Старший геолог ВСЕГЕИ (Всесоюзного геологического института. — М.С.) член-корреспондент Академии наук Залесский Михаил Дмитриевич освобожден Красной Армией из плена находится Берлине районе Шенеберг улица Бамбергер дом 31 просит ускорить возвращение родину Матвеев» [1; Л.22].

О том, что выдающийся русский палеоботаник и член-корреспондент АН СССР вывезен в нацистскую Германию, в Академии наук узнали в сентябре 1943 г., когда в период освобождения города Орла, где жил ученый, его родные и знакомые стали просить Академию выяснить судьбу Залесского. Обстоятельства этого необычного случая, который по понятным причинам в дальнейшем никогда не упоминался в советской печати, были изложены в письме профессора И.В.Палибина вице-президенту АН СССР академику Л.А.Орбели 21 декабря 1943 г.: «Во время вражеской оккупации города к Михаилу Дмитриевичу



**Марина Юрьевна Сорокина**, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Архива Российской академии наук. Занимается социальной историей российской науки, в частности мемуарным и эпистолярным наследием В.И.Вернадского, С.Ф.Ольденбурга и многих других выдающихся исторических деятелей близкой нам эпохи. Неоднократно публиковалась в «Природе».

Залесскому явился какой-то немецкий генерал с целью ознакомления с его работами. <...> Осмотрев его лабораторию по изучению ископаемой флоры, генерал признал его работу интересной и тут же распорядился, чтобы все материалы и научное ценное оборудование Михаила Дмитриевича Залесского были уложены и отправлены его дочери в Берлин, что немедленно было исполнено его солдатами. Во время эвакуации немцев из Орла профессор Залесский был угнан в плен с остальным населением города. Это произошло около 24—26 июля с.г.» [2; Оп.116. Д.326. Л.8]. В конце

письма профессор Палибин просил академическое руководство «изыскать способы розыска и освобождения профессора Залесского из немецкого плена путем международных переговоров с немецкими властями».

По распоряжению академика Орбели это письмо было переправлено директору Института права АН СССР академику И.П.Трайнину, а им — в Чрезвычайную государственную комиссию по расследованию нацистских преступлений и Народный комиссариат иностранных дел. Судьба Залесского, о которой я расскажу ниже, оказалась счастливой, и летом

\* Статья подготовлена в рамках проекта, поддержанного Фондом Г.Хенкель (Германия).

1945 г. он благополучно вернулся на родину. Между тем для истории отечественной науки военная одиссея ученого весьма значима и приоткрывает некоторые совершенно неизвестные страницы жизни российского научного сообщества в условиях столкновения сталинского и гитлеровского режимов.

\* \* \*

В западной социальной истории науки существует целое направление, занимающееся изучением последствий второй мировой войны и практики использования научных институций и кадров тоталитарными режимами, прежде всего нацизмом. Но в России многие историко-научные темы, важные для понимания реальной, а не мифологизированной или идеологизированной на партийный манер истории российской науки в годы войны, до сих пор остаются фигурой умолчания.

За прошедшие полвека историки много писали о значительном идеологическом и технологическом вкладе советских ученых в победу над гитлеровским режимом. В последнее десятилетие благодаря интенсивному исследованию таких ранее «закрытых» тем, как история атомного проекта, использование в СССР в предвоенные годы европейской и американской научно-инженерной мысли, а также интеллектуальных ресурсов западных ученых-эмигрантов (физиков, биологов, медиков и др.), оказавшихся в СССР до и после прихода к власти Гитлера в 1933 г., представление о роли советской науки в годы войны получило существенные уточнения. Однако наши знания о том, что (и кого) потеряла и что (и кого) приобрела отечественная наука в ходе второй мировой войны, остаются крайне фрагментарными. Нет определенных представлений и о том, как и в какой мере непосредственные, ожившие после изоляции второй половины 30-х годов контакты советских

ученых с союзниками, а также непосредственное соприкосновение с работавшими на нацистов германскими коллегами повлияли на развитие мировой и отечественной науки.

В рамках этих вопросов история Залесского примечательна во многих отношениях. Во-первых, незауряден сам факт вывоза во время войны в Германию ученого столь высокого ранга, как член-корреспондент Академии наук СССР. Остался ли «случай Залесского» единственным или были и другие подобные примеры? Каковы вообще масштабы естественной, вынужденной и насильственной миграций ученых в военные годы и какое значение они имели для развития науки и научного общества в послевоенные годы?

Из-за отсутствия базовых количественных данных достоверно ответить на эти вопросы сегодня едва ли возможно: ведь до сих пор даже в РАН нет ни полного мартиролога человеческих потерь Академии в годы войны, ни более или менее точного списка сотрудников, репрессированных в годы сталинизма. Тем более остается неизвестным, сколько советских ученых (и по каким причинам) оказалось на постоянной или временной работе в Германии (вывезены в принудительном порядке или поехали добровольно), что происходило с научными коллективами (вузами, институтами, лабораториями, музеями и т.п.), не успевшими эвакуироваться и оставшимися на оккупированных территориях, сколько ученых и с какой мотивацией ушло (или вывезено) к союзникам. И наконец, сколько специалистов было арестовано и погибло в застенках НКВД во время войны по обвинению в шпионаже или вредительстве и после войны по обвинению в коллаборационизме? Разумеется, поставленные вопросы фактически представляют собой программу исследований на многие годы вперед. Цель настоящей статьи лишь обозна-

чить круг упомянутых проблем и представить некоторые материалы к их изучению.

\* \* \*

Почти всю жизнь палеоботаник Михаил Дмитриевич Залесский провел в Орле. Здесь он родился 3 сентября 1877 г. в семье потомственного дворянина, акцизного чиновника Дмитрия Ивановича Залесского. Химик по образованию, ученик А.М.Бутлерова и друг В.В.Дочуцаева, отец сформировал основные научные интересы сына, и, когда последний в 1896 г. окончил Орловскую классическую гимназию, выбор учебного заведения был однозначен — естественное отделение физико-математического факультета Петербургского университета. После окончания университета, недолгой работы ассистентом по геологии и палеонтологии в Екатеринбургском высшем горном училище и изучения палеоботанических коллекций в Англии и Франции, в 1903 г. по инициативе академика Ф.Н.Чернышова Залесский избрали помощником геолога Геологического комитета в Петербурге, в котором он прослужил до 1938 г., пережив все многочисленные реорганизации этого известного исследовательского учреждения.

С 1918 г. Залесский жил в Орле и только временами наезжал в Петроград. В провинциальном губернском городке было значительно спокойнее и сытнее, чем в революционных столицах, и сюда в годы гражданской войны съехались многие ученые: здесь в Пролетарском (позднее — Государственном) университете преподавали востоковед, в будущем академик, Н.И.Конрад и выдающийся филолог и философ М.М.Бахтин, а М.Д.Залесский возглавлял физико-математический факультет в 1920—1922 гг.

В Орле ученому удалось создать себе такое «рабочее место», которому мог позавидовать любой палеоботаник самых



крупных научных центров Европы\*. В своей орловской квартире Михаил Дмитриевич собрал первоклассные научные коллекции и препараты, изготовленные им самим из ископаемых растений. В его распоряжении была прекрасная библиотека, современные оптические и фотографические инструменты для съемки ископаемых образцов. Жена ученого — Александра Романовна Ялова — была прекрасной рисовальщицей и помогала иллюстрировать работы мужа по анатомии растений. Весь спартанский образ жизни Залесских, у которых росли четверо сыновей\*\*, был полностью сосредоточен вокруг научной работы Михаила Дмитриевича.

В то же время Залесский отнюдь не был кабинетным исследователем, он постоянно участвовал в различных геологических экспедициях, изучая и описывая каменноугольную и пермскую флору Кузбасса, Донецкого бассейна, Янтайских копей в Маньчжурии, Нарынтау в Средней Азии и многих других мест. Самый крупный русский палеоботаник своего времени, Михаил Дмитриевич установил 1070 новых видов и 395 новых родов палеозойской флоры; он первый в России вывел палеоботанику из чисто описательной фазы, широко введя сравнительно-анатомический метод анализа ископаемых растений. Много внимания Залесский уделял и изучению ископаемых насекомых — отрасли, до его работ почти неизвестной в России, и с полным правом он может считаться основателем палеоэнтомологии в СССР.

Научные заслуги Залесского получили широкое признание за рубежом: он был избран членом-корреспондентом и иностранным

корреспондентом геологических обществ Великобритании, Бельгии и Франции, энтомологических обществ Франции и Великобритании. В 1929 г. и АН СССР избрала ученого своим членом-корреспондентом.

Одной из причин орловского затворничества Залесского были его резкие расхождения с коллегами по научному цеху, которые проявлялись буквально во всем — от образа жизни до научной методологии. Новая, советская действительность была глубоко чужда ученому, воспитанному в традициях православия, разделявшему высокие европейские стандарты научной акрибии\*\*\* и имевшему обширные западные связи. Неудивительно, что характеристика Залесского, данная администрацией Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института (ЦНИГРИ), к которому он был «приписан» в 30-е годы, гласила: «В общественной жизни института участия совершенно не принимает» [1; Л.15].

Требовательность и острая критичность по отношению к научной продукции — равно собственной и чужой — осложняли отношения с коллегами. Отказываясь в 1937 г. выступить в дискуссии по проблемам пермской системы, Залесский утверждал, что для их решения у советских геологов «нет достаточных данных, кроме голых утверждений того или другого рода. <...> Выступлю только при иностранцах, где будут люди с достаточными фактами в руках и опытом. Наливкин\*\*\*\* ничего не может сказать по названной теме большего, чем сказал он в объяснительной записке к геологической карте Урала. Он и его компания хотят вызвать меня на дискуссию для того, что-

\*\*\* От греч. «точность».

\*\*\*\* Наливкин Дмитрий Васильевич (1889—1982) — геолог и палеонтолог, член-корреспондент (1933), академик (1946) АН СССР. Сотрудник ЦНИГРИ, с 1937 г. главный редактор мелкомасштабных геологических карт СССР.



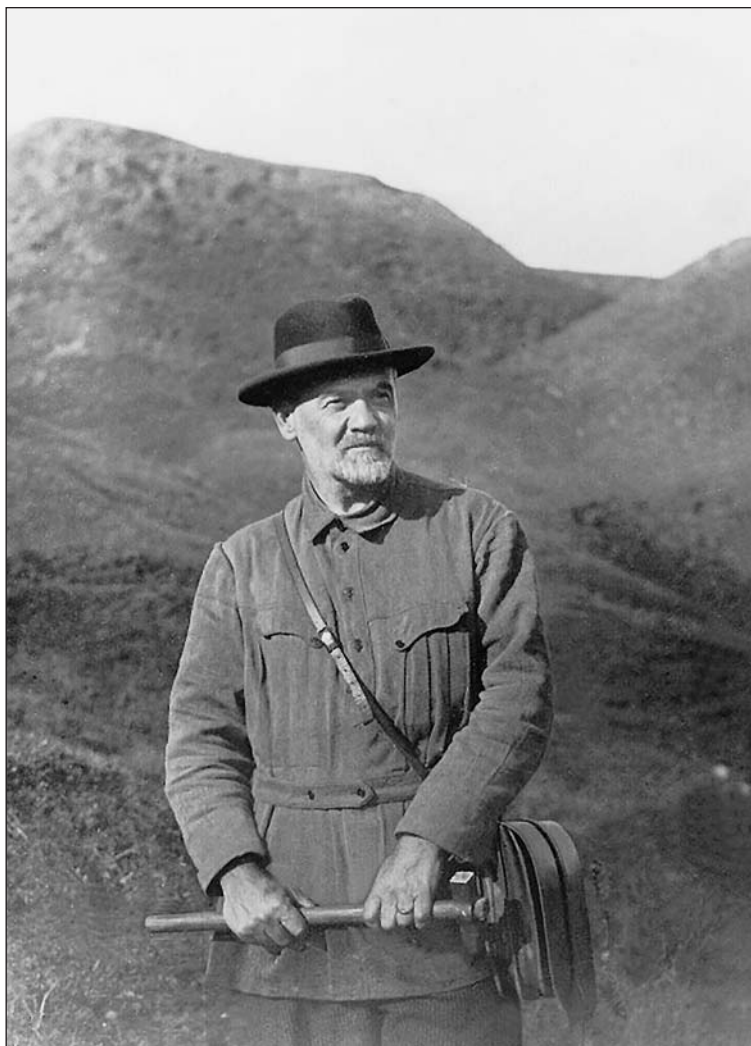
М.Д.Залесский — студент Петербургского университета.

бы воспользоваться ею для того, чтобы не пустить меня сделать доклад на конгрессе» (письмо М.Д.Залесского Е.Ф.Чирковой от 26 января 1937 г.) [3; Л.11].

Строгость обращения с эмпирическими данными как обязательное требование для установления научной истины сочеталась у Залесского с православным мировоззрением. Глубоко религиозный человек, он не только в быту следовал всем канонам православной традиции, но занимался изучением и даже созданием богословских трудов: так, в одном из писем он сообщал, что после смерти жены «написал трактат о загробной судьбе человека по свидетельству Евангелий, апостольских посланий и Откровения Иоанна» (письмо М.Д.Залесского Е.Ф.Чирковой от 22 июня 1945 г.) [3; Л.453 об]. Разумеется, эта сторона напряженной духовной жизни ученого никогда не афишировалась, тем более что довоенный Орел причудливо сочетал в себе место политической ссылки для питерских ученых, тюремного заключения подлинных и мнимых участников сталинской партийной оппозиции и круп-

\* В настоящей статье использованы сведения, собранные Е.Ф.Чирковой для биографии М.Д.Залесского (АРАН. Ф.1663. Оп.1. Д.92).

\*\* Сын Всеволод умер 11-летним, Юрий стал палеоэнтомологом, Дмитрий — ботаником, Ростислав погиб в 1943 г. около Пулкова.



В экспедиции. Предвоенные годы.

ного религиозно-сектантского центра\*. Здесь во второй половине 30-х находились в ссылке известные ленинградские востоковеды: иранист-филолог Ксения Дмитриевна Ильина и ее супруг, исследователь и переводчик арабской и персидской поэзии Василий Александрович Эберман, китаевед Мария Петровна Лаврова. В знаменитом Орловском центре сидела большая группа осуж-

\* Так, в частности, город издавна был одним из центров «имяславия» — религиозного движения, утверждавшего мистическое присутствие Бога в самом имени Божием, учения, отвергнутого православной церковью (и называвшегося оппонентами «имябожеской ересью»).

денных по 58-й статье коминтерновцев и военных, а также Христиан Георгиевич Раковский, профессор-медик Дмитрий Дмитриевич Плетнев, Мария Спиридонова, Ольга Давыдовна Каменева (жена Л.Б.Каменева и сестра Л.Д.Троцкого), Варвара Николаевна Яковлева; большинство из них было расстреляно НКВД при приближении немцев 11 сентября 1941 г. в Медведовском лесу. По-видимому, тогда же и там же был расстрелян обвиненный во вредительстве член-корреспондент АН СССР Борис Васильевич Нумеров, основатель и первый директор ленинградского

Института теоретической физики АН СССР.

Всю вторую половину 30-х годов Орловщину сотрясали массовые политические репрессии, одним из организаторов которых стал начальник Управления НКВД области Пинхус Симановский. В 1937—1938 гг. по его указанию был сфальсифицирован ряд крупных политических дел, по которым во второй половине 1937 г. на территории области были арестованы и осуждены более 17 тыс. человек. Благодатной питательной почвой для фальсификации «антисоветских организационных структур» явилась орловская церковно-сектантская среда. Только 2 декабря 1937 г. в урочище Липовчик, что в нескольких километрах от Ливен, были расстреляны 33 священника русской православной церкви. Стоит ли удивляться, что летом 1943 г., еще до освобождения Орла от немецко-фашистских оккупантов, по свидетельству академика-хирурга Н.Н.Бурденко, «все служители культа покинули город» [2; Оп.37. Д.10. Л.46].

\* \* \*

Нацисты задействовали обширную программу сбора по всему миру различных видов научных ресурсов, использование которых имело стратегическое научное и прикладное значение для Германии. Еще в довоенные годы специалисты самых различных имперских ведомств занимались интенсивным мониторингом научных учреждений мира, а международные научные связи широко использовались немецкими, как, впрочем, и всеми другими спецслужбами в качестве инструмента шпионажа. Например, по сведениям известного историка медицины М.Хубеншторфа (M.Hubenstorf), секция внешней политики Врачебной палаты рейха представляла собой не что иное, как своеобразное медицинское разведывательное агентство, имевшее пять секто-

ров-направлений, одно из которых охватывало регион СССР—Восточная Европа—Турция и курировалось микробиологом, бывшим сотрудником Института по изучению инфекционных болезней им. Роберта Коха в Берлине Райнером Ольшей (Reiner Olzscha).

Перед нападением на СССР некоторые немецкие микробиологи (часть из них в 20—30-е годы работали в советских микробиологических институтах, а затем внимательно следили за публикациями советских микробиологических и бактериологических институтов и станций) подготовили для германского военного командования немало аналитических материалов, характеризовавших уровень и потенциал развития этой дисциплины в СССР, а также эпидемическую ситуацию в стране в целом. Сбор медицинской информации о Советской России, осуществленный в предвоенные годы, обеспечил, с одной стороны, систему профилактических мер для немецкой армии, а с другой — «точечность ударов» немецких «охотников за микробами»: сразу после начала боевых действий специальные зондеркоманды (группы захвата) отправились по вполне конкретным адресам.

Так, одна из них летом 1942 г., после начала немецкого наступления на Северном Кавказе, взяла курс на Ворошиловск (ныне Ставрополь), где находилась знаменитая противочумная станция, возглавляемая вирусологом Магдалиной Петровной Покровской (1901—1980) [4]. Во второй половине 30-х ей удалось вырастить штамм возбудителя, который при введении в кровь и легкие животных (мышей и кроликов) делал их организмы невосприимчивыми к чумному микробу. Еще до войны эта противочумная вакцина с успехом применялась на Северном Кавказе, в Закавказье, Монголии и Китае. Покровской удалось выехать из города и вывезти научные материалы бук-

вально за час до прихода немцев, которые перевернули вверх дном ее квартиру и станцию, разыскивая научную документацию\*. Более того, желая привлечь к сотрудничеству советских ученых, они вскоре обратились к оставшемуся персоналу станции с заявлением, что в случае возвращения Покровской и ей, и ее мужу, известному паразитологу, профессору Илье Григорьевичу Иоффе, гарантируются полная безопасность и нормальные условия для жизни и работы. Впоследствии взятые гитлеровцами в квартире Покровской некоторые вещи, фотографии и документы были обнаружены на о. Римс, в Вирусном институте, производившем противоящурные сыворотки и вакцины. Обследованием этого института после войны занимались уже советские микробиологи, в том числе Л.А. Зильбер [5].

Специальные гитлеровские команды по захвату научных ресурсов в СССР действовали не только в поле дисциплин, имевших военное значение. Генеральный «План Ост» предусматривал учет и конфискацию самого разного собственно научного материала на оккупированных европейских и советских территориях — от библиотечных, археологических и этнографических коллекций и архивов для Центра славистических исследований в Польше, собраний топографических карт, «стеклянных библиотек» (снимков неба) до генного растительного и животного материала, коллекций почв, геологических и минералогических образцов, штаммов возбудителей болезней (музеи живых культур), химических реактивов и т.д. Множество различных команд прочесывали советские музеи, институты, лаборатории, станции, научный потен-

\* М.П. Покровская доехала до Казахстана; в дальнейшем жила в Москве, где создала вакцину от брюшного тифа для детей, занималась лечением туберкулеза. Умерла в 1980 г. и похоронена в Ставрополе рядом с мужем, на старом Даниловском кладбище.

циал которых имел вполне мирное предназначение. Так, команда СС по сбору ботанического материала под руководством молодого ботаника Хайнца Брюхера побывала на всех растениеводческих станциях и в институтах на Украине и в Крыму [6], [7].

Еще более основательно была поставлена работа по «спасению» культурных и научных ценностей в другом специальном подразделении СС — под командованием штурмбанфюрера барона Эберхарда фон Кюнсберга. Три из четырех батальонов Кюнсберга действовали на территории СССР. Они находились в непосредственном подчинении министерства иностранных дел (т.е. И.Риббентропа) и были укомплектованы первоклассными специалистами в своих областях. Так, например, заместитель директора упомянутой выше секции внешней политики Врачебной палаты рейха Хельмут Хаболд (Helmut Haubold) служил в одной из зондеркоманд и собирал всю возможную информацию о достижениях советского здравоохранения.

О том, что целенаправленные поиски и вывоз научных ресурсов из СССР были четко сформулированной политикой гитлеровского руководства, лишний раз свидетельствует недавно обнаруженная и опубликованная «Картотека «Z» — описание деятельности еще одной мощной структуры — оперативного штаба «Рейхсляйтер Розенберг» [8]. Этот штаб также занимался оценкой, инвентаризацией и вывозом культурных ценностей, в том числе научных, из СССР в Германию. Разветвленная сеть его подразделений охватывала все оккупированные территории СССР. Три главные рабочие группы — «Остланд», «Украина» и присоединившийся к ним с мая 1943 г. «Центр» базировались соответственно в Риге, Киеве и Смоленске; эти группы в свою очередь делились на более мелкие с кон-



Arbeitsamt: <u>Orrel</u> 1	
Биржа труда	
Eintragung als Schwer- bzw. Schwerstarbeiter- Внесение как тяжело работающий или временно тяжело работающий	S. bzw. Sch.  Meldekarte Nr. <u>15905</u> Явочная карточка №
Berufsgruppe: _____ Проф. группа	
Name: <u>Saleski</u>	
Фамилия: <u>Michail</u>	Vatersname: <u>Dmitriewitsch</u>
Имя:	Отчество:
Geboren am und wo: Когда и где родился	ledig/хол.
<u>1897.</u>	verb./в браке
	verw./овдов.
	getr. lebend/врозь жив.
Wohnort: <u>Orrel</u>	
Место жительства:	
Strasse und Hausnummer: Улица и № дома	<u>Uisko w Moskau, m. Gars 169</u>
Beruf: _____	Beschäftigt als: _____
Профессия:	Занят как:
Nur beim Haushaltungsvorstand ausfüllen: Выполнять только при главе семейства:	
Zahl- u. Geburtsjahre der Kinder unter 14 Jahren Числа и годы рождения детей моложе 14 лет	
Meldetag День ввки	Unterschrift Подпись
<u>15.10.1943</u>	<u>[Signature]</u>

Карточка учета рабочей силы оккупационной Биржи труда в Орле.

кретной географической локализацией действий — «Киев», «Харьков» «Крым» и т.п., а также особые команды («Кавказ», «Курск», «Ростов» и т.д.). Наконец, помимо этих групп, на оккупированные территории СССР время от времени приезжали из Германии научные эксперты из «особых штабов» по направлениям («Архивы», «Наука», «Этнография» и т.п.).

Как и в батальонах Кюнсберга, сотрудниками штаба Розенберга стали немецкие интеллектуалы — от безвестных специалистов до вполне известных и заслуженных университет-

ских профессоров и директоров музеев и архивов. Если первоначально официальной мотивацией их деятельности служила легенда о спасении культурных и научных ценностей от варваров-большевиков, в соответствии с которой следовало прежде всего сохранить и учесть имеющиеся памятники и инфраструктуру советской науки, то с середины войны, когда ее исход стал вполне предсказуем, начался тотальный вывоз библиотек, архивов, коллекций, оборудования. А наряду с этим и специалистов: ученых, техников, преподавателей.

\* \* \*

Орел был захвачен немецко-фашистскими войсками уже 3 октября 1941 г. и удерживался ими до первых чисел августа 1943 г. Более чем за полтора года оккупации жители города вновь пережили трагедию безвыходного и бесправного рабства и унижения, став для оккупационных властей исключительно «рабочей силой». Еще 5 декабря 1941 г. в местной газете «Речь» появился приказ военного коменданта об обязательной регистрации советских граждан на бирже труда, после чего многие из них эшелонами отправлялись на работы в Германию. При отступлении гитлеровцев Орел был объявлен «боевой зоной», покидать которую разрешалось только в западном направлении; все мужчины, теперь уже «военнопленные», также должны были «эвакуироваться в тыл», т.е. опять-таки в Германию.

Приехавший в августе 1943 г. в Орел для расследования нацистских преступлений академик Н.Н.Бурденко был потрясен. «Картины, которые пришлось видеть, — писал он председателю ЦГК Н.М.Швернику, — не только поражали воображение, но они совершенно парализовали мысль и ввергали в оцепенение. Раненые в первый раз видели меня — русского врача и видели сопровождающих меня врачей и могли судить обо мне как начальнике — но я ни на одном лице не видел чувства, — не говорю о радости, — удовольствия. На приветствие: “Здравствуйте, товарищи”, — было угрюмое молчание и на лицах — утомление, равнодушие. Эта ошеломляющая картина заставила меня задуматься — в чем тут дело? Очевидно, эмоция страха и отчаяния пережитых месяцев поставила знак равенства между жизнью и смертью, между волей к свободной жизни и рабством. Я наблюдал три дня людей, перевазывал их, эвакуировал — психо-

логический ступор не менялся. Нечто подобное в первые дни лежало и на лицах врачей и прочих групп орловской интеллигенции» [2; Оп.37. Д.10. Л.30—31].

Тяжелые военные испытания не обошли стороной и семью Залесских. Сразу после вступления немецких войск в Орел в их квартире произошел пожар, и она полностью сгорела. Вместе с квартирой погибли вещи, часть книг и приборы. Только свои рукописи Михаил Дмитриевич успел вынести из дома. 28 февраля 1942 г. скончалась жена Залесского Александра Романовна. А летом 1943 г. в его квартире в Узко-Введенском переулке, где он жил после пожара, появился немецкий офицер (скорее всего он был из штаба Розенберга, так как интересовался лабораторией ученого), приказавший отправить в Берлин все сохранившиеся материалы и научное оборудование (книги, инструменты, препараты и коллекции ископаемых растений и насекомых), а также самого ученого, что и произошло 24 июля 1943 г. По воспоминаниям соседей, Залесский пытался всячески уговорить немцев не увозить его из России, но это был глас вопиющего в пустыне: ему ответили, что есть приказ о его выезде, которому он обязан подчиниться (из письма Н.А.Мацневой от 18 августа 1943 г.) [1; Л.19—19 об.].

16 августа 1943 г. Залесский прибыл в Берлин, где сразу начал работать в Имперском институте исследования почв. Однако несчастья не отпускали ученого: привезенное в Германию оборудование очень скоро, 21 ноября 1943 г., погибло в здании института в новом пожаре, возникшем в результате полета авиации союзников (из письма М.Д.Залесского Е.Ф.Чирковой от 12 июня 1945 г.) [3; Л.451—451 об.]. Как складывалась его работа в германском институте в последующие полтора года, над какими темами работал За-

лесский, с кем из немецких коллег и как взаимодействовал, пока остается неясным. Однако достоверно известно, что после академических ходатайств 1943 г., советские спецслужбы занялись поисками в Германии увезенного члена-корреспондента и к маю 1945 г. он уже находился, по его собственным словам, «среди русских геологов отряда инженерных войск Белорусского фронта, куда меня устроил Александр Кириллович Матвеев, нашедший меня в Берлине» (из письма М.Д.Залесского Е.Ф.Чирковой от 12 июня 1945 г.) [3; Л.451—451 об.].

В это время АН СССР вовсю готовилась к празднованию своего внеочередного юбилея — 220-летнего, — подаренного ей Сталиным. 1 июня Комаров направил цитированную в начале статьи телеграмму о находжении Залесского уполномоченному СНК СССР по делам репатриации граждан СССР генерал-полковнику Ф.И.Голикову и просил ускорить возвращение ученого на родину. «Желательно, — писал президент, — чтобы член-корреспондент М.Д.Залесский мог приехать в Москву к началу юбилейной сессии Академии наук СССР, которая откроется 15 июня 1945 г.» [1; Л.21]. Пожелание президента осталось нереализованным, но принятым во внимание. 14 июля помощник уполномоченного по делам репатриации генерал-майор Ревякин сообщил вице-президенту АН СССР Н.Г.Бруевичу, что им дано указание начальнику Управления репатриации при Военном совете Группы советских оккупационных войск в Германии о возвращении Залесского на родину [1; Л.23], а 24 сентября распоряжением Президиума АН СССР он был уже зачислен старшим научным сотрудником в Палеонтологический институт [1; Л.25]. Несмотря на благополучный исход своей эпопеи, Михаил Дмитриевич так и не смог оправиться от пережитого и через год, 22 декабря 1946 г., скончался.

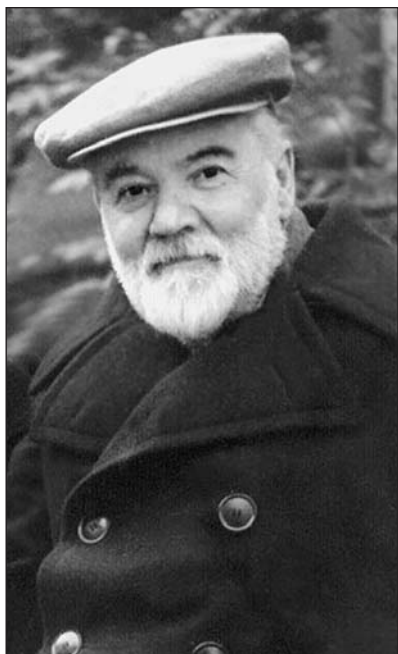
\* \* \*

В отличие от других «возвращенцев», добровольно и осознанно стремившихся на родину или захваченных спецгруппами НКВД, Залесский не был подвергнут никаким репрессиям. Что сыграло в этом свою роль: его высокий научный статус и академическое покровительство, возраст или случившийся «вовремя» уход из жизни — сказать трудно. Одно ясно — в контексте послевоенного сталинского «наведения порядка» в стране «случай Залесского» явно не характерный, это своего рода «история в себе»\*.

Судьбы подавляющего большинства отечественных ученых, по тем или иным причинам оказавшихся на оккупированных территориях или во вражеском плену, сложились совсем иначе — страшнее и драматичнее. Несколько примеров. Андрей Николаевич Егунов (1895—1968), филолог-классик, переводчик «Законов» Платона и самобытный писатель, впервые арестованный НКВД еще в 1933 г. и вывезенный немецкими оккупационными властями вместе с семьей из Новгорода в Германию, работал на молокозаводе под Гамбургом и преподавал немецкий язык советским офицерам в Берлине. Здесь он был вновь арестован и осужден на 10 лет лагерей, которые отбывал сначала в берлинской тюрьме, а затем в сибирских и казахстанских лагерях. Только осенью 1956 г. Егунов «вернулся с войны» и стал сотрудником сектора взаимосвязей русской и зарубежной литературы Пушкинского Дома.

Геолог-нефтяник Алексей Алексеевич Аносов (1881—?), подобно Егунову арестованный Северо-Кавказским ОГПУ еще в 1929 г., был осужден на 10 лет

\* Правда, можно назвать и некоторые другие аналогичные случаи: так, например, во время оккупации в Крыму оставался литературовед, член-корреспондент АН Вячеслав Евгеньевич Петухов (1863—1948), но его, несомненно, хранил весьма преклонный возраст.



После возвращения из Германии.  
Осень 1945 г.

лагерей, которые провел в геологических «шарашках» на Северном Кавказе и в Ухтпечлаге. В июне 1938 г. его снова отправили на Северный Кавказ, в Краснодар. Оказавшись в оккупации, Аносов не стал более искушать судьбу и ушел с немцами на Запад.

Директор Одесской астрономической обсерватории Константин Доримедонтович По-

кровский (1868—1944) во время немецко-румынской оккупации города продолжал, как и многие его коллеги, работать в местных учебных заведениях; в мае 1944 г. 76-летний профессор был арестован, обвинен в измене родине и вскоре скончался в тюрьме №1 УНКВД Киевской области [9].

Наконец, были и другие варианты судьбы, продиктованные осознанным выбором антисоветской позиции. Например, известный историк, сотрудник Всеукраинской академии наук Александр Петрович Оглоблин (1899—1992), во время фашистской оккупации стал главой городской управы в Киеве, а затем жил и работал в Германии и США.

Не только отдельные ученые, но и целые научные отделы, лаборатории, станции насильно вывозились фашистами или добровольно уезжали — фактически бежали от сталинизма — в Германию, а после поражения нацизма часто оказывались и далее, за океаном. В СССР все они — без разбора — получали клеймо «враг народа», однако многое из того, что раньше просто и однозначно трактовалось как измена Родине или коллаборационизм, теперь нередко интерпретируется совсем иначе — как стремление «жертв двух диктатур» (П.Полян) сохранить человеческое достоинство или да-

же как попытки противостояния сталинскому тоталитаризму.

Подлинная социальная история отечественной науки в годы второй мировой войны еще ждет своих исследователей. Здесь отмечу только то, что одним из важнейших следствий этой войны стало рождение беспрецедентного по масштабам феномена: «перемещенная / исчезнувшая / рассеянная наука» («Displaced / Disappeared / Dispersed Science»). Изначально вызванное перекраиванием всей политической карты Европы, это явление вылилось как в перемещение научных ресурсов, так и в жесткую борьбу властных и разведывательных структур различных государств за контроль над интеллектуальными научными ресурсами — учеными, лабораториями и институтами. Парадоксальным и непредвиденным результатом слома прежнего порядка стала глобальная интернационализация самого научного сообщества и значительное повышение его роли межкультурного посредника.

Однако для советских ученых «железный занавес» идеологического противостояния во времена холодной войны оказался куда менее проницаемым, чем в кровавые 30-е или «сороковые-роковые» (Д.Самойлов). Но это уже другая тема. ■

## Литература

1. АРАН. Ф.411. Оп.4а. Д.36 (личное дело М.Д.Залесского).
2. ГАРФ. Ф.Р-7021.
3. АРАН. Ф.1663. Оп.1. Д.105.
4. Беликов Г. Оккупация. Ставрополь. Август 1942 — январь 1943. Ставрополь, 1998. С.106—108.
5. ГАРФ. Ф.Р-7317. Оп.56. Д.21. Л.20.
6. Хосфельд Уве. Захват немецкими фашистами генного материала вавилонских институтов в 1943 году // На переломе: Отечественная наука в первой половине XX века. Вып. 2. СПб., 1999. С.247.
7. Flitner M. Sammler, Räuber und Gelehrte: die politischen Interessen an pflanzengenetischen Ressourcen 1895—1995. Frankfurt a. M.; N.Y., 1995.
8. Картотека «Z» оперативного штаба «Рейхсляйтер Розенберг». Ценности культуры на оккупированных территориях России, Украины и Белоруссии. 1941—1942 / Изд. подг. М.А.Бойцовым и Т.А.Васильевой. М., 1998.
9. Смирнов В.А., Чуприна Р.И. Последние дни профессора К.Д.Покровского // Природа. 1994. №11. С.126—128.



# Новости науки

## Космические исследования

### Новые шаги гамма-астрономии

В октябре 2002 г. самая мощная из российских ракет — «Протон» — успешно вывела на заданную высокую орбиту искусственный спутник Земли «INTEGRAL» («International Gamma-Ray Astronomy Laboratory» — «Международная астрономическая лаборатория гамма-излучений»). На ее борту установлены четыре совершенных гамма-телескопа. Ожидается подлинный прорыв в спектроскопии с высоким разрешением и в построении изображений космических объектов, излучающих энергию от десятков килоэлектронвольт до нескольких мегаэлектронвольт, а это наиболее характерный диапазон для большинства энергетических процессов во Вселенной.

Спектрометр этой космической лаборатории способен регистрировать, например, линии гамма-излучения  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{44}\text{Ti}$ ,  $^{22}\text{Na}$ , которые служат признаком протекавшего недавно ядерного синтеза. Хотя линии излучения в гамма-диапазоне трудноуловимы, межзвездная среда их не поглощает, а период полураспада этих изотопов хорошо известен.

«INTEGRAL» поможет также пролить свет на тайну «пропавших сверхновых». Последний известный случай их взрыва относится ко временам И.Кеплера и Г.Галилея, а, согласно существующей теории, это должно случаться примерно дважды в столетие. Если остатки недавно вспыхнувшей сверхновой обретаются невидимо для нас где-то в галактическом диске, то появится возможность их наблюдать благодаря

гамма-излучению «молодых» изотопов  $^{44}\text{Ti}$  и  $^{22}\text{Na}$  с периодами полураспада соответственно 89 и четыре года — ведь они рождаются как раз при таких взрывных процессах. Если же изотопы будут отсутствовать, значит, в действительности вспышки сверхновых случаются намного реже, чем полагали до сих пор.

Большие надежды возлагаются на уже начатое взаимодействие орбитальной лаборатории «INTEGRAL» с американским ИСЗ «Chandra» и европейским «Newton», что дает возможность одновременных наблюдений в различных полосах частот.

Science. 2002. V.298. №5598. P.1560 (США).

## Астрофизика

### Двойное «сердце» галактики

Более 20 лет назад британский астроном М.Рис (M.Rees; Кембриджский университет) в сотрудничестве с американскими коллегами М.Бегельманом (M.Begelman) и Р.Бландфордом (R.Blandford) предложили необычную гипотезу: колебание оси вращения, которое наблюдается иногда у тонких струй вещества, испускаемых некоторыми галактиками, может объясняться тем, что в центре таких галактик скрывается не одна, а две сверхмассивные черные дыры. Однако эта смелая гипотеза тогда не нашла поддержки у большинства специалистов.

Теперь же она подтверждена данными, полученными с космической обсерватории «Chandra» и проанализированными сотрудниками Института им.М.Планка в Гархинге (ФРГ). Объектом наблюдений была галактика NGC 6240,

находящаяся в 400 млн св. лет от нас и давно привлекавшая внимание специалистов тем, что в видимой части спектра выглядела сильно искривленной. Такая форма обычно указывает на систему из двух когда-то столкнувшихся галактик. Кроме того, подобный объект излучает гигантское количество энергии в инфракрасной области спектра.

Известны лишь два механизма, способные привести к таким последствиям. Так, галактика NGC 6240 может еще оставаться активной, и там происходят серии мощных взрывов, сопровождающих рождение новых звезд. Альтернативой этому механизму служит наличие у галактики NGC 6240 (как и у многих иных) активного ядра — гигантской «машины», извергающей рентгеновские лучи в ходе аккреции вещества на черную дыру, расположенную в ее центре; в этом случае космическая пыль, находящаяся вблизи галактического ядра, должна поглощать рентгеновское излучение и переизлучать энергию в инфракрасном диапазоне.

Запуск в 1999 г. ИСЗ «Chandra» с приборами высокой разрешающей способности в рентгеновской части спектра позволил всерьез заняться галактикой NGC 6240. Еще в середине 90-х годов было известно, что лежащий в ее центре рентгеновский источник имеет вытянутую, а не сферическую форму. Теперь выяснилось, что этот источник — двойной; он состоит из двух объектов, разделенных тысячами световых лет. То, что имеются в виду именно две черные дыры, подтверждается невероятной интенсивностью их излучения. А это свойственно как раз активным галактическим ядрам, но от-

нюдь не взрывам сверхновых. Более того, в спектре рентгеновских лучей, исходящих из центра галактики, имеется сильная линия эмиссии холодных, неионизованных атомов железа. Взрывы звезд, в отличие от рентгеновского излучения высокой энергии, свечения железа не вызывают.

Участники исследований полагают, что каждая из черных дыр имеет массу  $10^6$ – $10^7 M_{\odot}$ . То, что расстояние между двумя «сердцами» галактики достигает 3 тыс. св. лет, означает, что черные дыры обращаются вокруг общего центра с периодом в миллионы лет. Через сотни миллионов лет, в течение которых эти объекты будут двигаться по спирали навстречу друг другу, излучая энергию в форме гравитационных волн, им предстоит столкнуться и слиться воедино.

Гравитационные волны, возбуждаемые при таких слияниях, должны быть различимы для приборов системы LISA (Laser Interferometer Space Antenna — Космическая антенна лазерного интерферометра), состоящей из шести отдельных спутников. Европейское космическое агентство совместно с НАСА намерено вывести ее на орбиту в конце текущего десятилетия. Тогда можно будет установить, насколько обычен во Вселенной процесс слияния черных дыр в единый сверхмощный объект.

Science. 2002. V.298. №5599. P.1698 (США).

## Астрономия

### Вторая затменная планетная система

До сих пор для обнаружения внесолнечных планет использовался исключительно метод лучевых скоростей: проводился поиск звезд, которые периодически смещались бы по лучу зрения под воздействием притяжения невидимого спутника — массивной планеты. Альтернативу должен составить метод прохождений, суть которого составляет поиск планет, затмевающих свои звезды. Разумеется, для этого необходимо, чтобы орбита планеты была почти па-

раллельна лучу зрения. Такую ориентацию имеют очень немногие планетные системы, но этот недостаток компенсируется возможностью их обнаружения на больших расстояниях. Дальность действия метода лучевых скоростей ограничена примерно 160 св. годами, а метод прохождений не теряет силы и на расстояниях в несколько тысяч св. лет. Наглядным примером это подтвердили Д.Сасселов (D.Sasselov; Гарвардский астрофизический центр, США) и его коллеги: выполняя программу по исследованию гравитационных микролинз OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment), они обнаружили в 5000 св. лет от Солнца звезду, перед диском которой через каждые 29 ч пролетает юпитероподобная планета.

Стратегия поиска микролинз такова: телескоп наводят на участок неба с большим количеством звезд и изо дня в день отслеживают небольшие изменения их видимой яркости, вызванные эффектом гравитационного линзирования, который связан с прохождением некоего объекта между звездой и наблюдателем. Естественно, в ходе наблюдений исследователи собирают большой объем сведений, касающихся и обычных переменных звезд, в частности затменно-переменных. Это двойные системы, в которых кажущееся изменение яркости первичного компонента вызвано прохождением по его диску более тусклого спутника. Работая по программе OGLE, ученые выделили около 60 систем, в которых тусклым спутником могла оказаться планета. Чтобы исключить из этого списка звезды с переменным собственным блеском, а также затменные системы, в которых вторичным компонентом является небольшая звезда или коричневый карлик, ученые прибегли к уже проверенному методу лучевых скоростей. Предварительное исследование позволило выявить пять подозрительных систем с характерными колебаниями лучевой скорости. Высококачественные спектры этих звезд были получены на 10-метровом телескопе Кека (Гавайские о-ва,

США). У одной из пяти — OGLE-TR-56 — ученые действительно обнаружили колебания лучевой скорости, период и фаза которых в точности совпадают с периодом и фазой колебаний блеска.

По оценкам авторов, периодическое снижение яркости звезды на 1.2% вызывается прохождением перед ее диском планеты, которая по размеру и массе близка к Юпитеру. Вероятно, планета сформировалась дальше от звезды, но постепенно приблизилась к ней; температура ее атмосферы равна примерно 2000 К.

Планета у звезды OGLE-TR-56 стала второй известной ученым внесолнечной планетой, затмевающей свое светило. Первой была планета у звезды HD 209458, но ее сначала нашли методом лучевых скоростей и лишь потом выяснили, что она же вызывает затмения в системе<sup>1</sup>. Работа Сасселова и его коллег показала, что у метода прохождений хорошие перспективы: с учетом большего расстояния, на котором его можно использовать, число потенциальных объектов исследования возрастает по сравнению с методом лучевых скоростей с 40 тыс. до 100 млн. «Мы стоим на пороге новой эры исследования внесолнечных планет», — считает Сасселов.

Nature. 2003. V.421. №6022. P.507 (Великобритания).

## Астрономия

### Гигантская планета в опасности

Когда-нибудь Солнце начнет расширяться, превращаясь в звезду-гигант, и с понижением температуры поверхности приобретет красноватый оттенок. Расширяясь, красный гигант нагреет и испепелит нашу планету, а возможно, и поглотит ее целиком. К счастью, произойдет это нескоро. Но сейчас такая судьба наступила одну из планет, которая находится в системе, принадлежащей гигантской звезде HD 47536. Расположенная на расстоянии около 400

<sup>1</sup> Вибед.З. Каталог экзопланет пополняется // Природа. 2000. №11. С.84–85.

св. лет от нас, она представляет собой одну из наиболее удаленных планетных систем, известных сегодня астрономам.

Планета вблизи звезды HD 47536 обнаружена в ходе трехлетнего спектроскопического исследования 80 звезд-гигантов южного неба, которое было проведено командой астрономов<sup>1</sup> с помощью спектрографа FEROS, установленного на 1.52-метровом телескопе Европейской южной обсерватории в Ла-Силья (Чили). Программа изучения звезд-гигантов не была специально направлена на поиск планет рядом с ними — такие звезды, приближающиеся к концу своей эволюции, очень интересны сами по себе. Их атмосферы беспокойны, и большинство из них демонстрируют регулярные изменения спектра. Причиной тому служат слабые пульсации поверхности звезд, появление на ней активных областей (напоминающих солнечные пятна, но значительно крупнее) и периодические смещения звезд, вызванные обращением вокруг них массивных спутников.

В случае звезды HD 47536 именно планета оказалась виновницей медленных периодических смещений спектральных линий (эффект Доплера). Это всего лишь четвертый случай обнаружения планеты вблизи звезды-гиганта, причем HD 47536 — самая крупная из таких звезд, превосходящая Солнце в 23.5 раза. Несмотря на удаленность, она настолько ярка, что при желании ее можно заметить невооруженным глазом в созвездии Большого Пса как светило 6-й звездной величины. Обнаруженная рядом с ней планета также из разряда чемпионов: она в 5—10 раз превосходит по массе Юпитер. Расстояние между звездой и планетой около 300 млн км — вдвое больше, чем от Земли до Солнца. Соответственно, и орбитальный период планеты почти вдвое превышает земной год: он составляет 712 сут.

Зная эти цифры, легко представить себе, как выглядит диск звезды HD 47536 с поверхности обнаруженной планеты: его видимый размер в 12 раз превышает диаметр солнечного диска на земном небосводе — величественное и довольно жуткое зрелище. А ведь звезда HD 47536 еще продолжает расширяться. Пройдет время, и она начнет испарять в космическое пространство атмосферу планеты, а затем, возможно, и поглотит ее целиком. Кстати, та же команда астрономов пару лет назад обнаружила линии лития в спектрах некоторых звезд-гигантов. Тогда это открытие вызвало замешательство: литий очень легко сгорает в термоядерных реакциях, и у звезды преклонного возраста его быть не должно. Однако теперь выясняется, что расширяющаяся звезда может захватывать планеты и обогащать свою атмосферу литием, который прекрасно сохраняется в недрах холодной гигантской планеты — вот такое «омоложение» звезды за счет ее гнущего спутника!

© В.Г.Сурдин,  
кандидат физико-  
математических наук  
Москва

## Планетология

### Откуда вода на Марсе?

Нет сомнений, что нынешние температуры на Марсе очень низки, климат невероятно засушлив, атмосфера весьма разрежена. И это состояние, по крайней мере на поверхности планеты, сохраняется не менее нескольких миллиардов лет. Но всегда ли было так? Геологи видят в строении поверхностного слоя Марса свидетельства некогда существовавших могучих рек и огромных озер с неизбежной в таком случае активной эрозией берегов и всей суши. Однако климатологи не обнаруживают причин, по которым температура на планете когда-либо была намного выше, без чего подобный водный режим невозможен. Специалисты не находят

в атмосфере Марса следов достаточного количества парниковых газов, которые объяснили бы потепление, якобы приведшее к таянию подземных льдов.

Свое решение этого парадокса предлагают сотрудники Университета штата Колорадо в Боулдере и Исследовательского центра Эймса в Моффет-Филде, возглавляемые Т.Л.Сегура и К.Цанле (T.L.Segura, K.Zahnle). Они полагают, что падение крупных метеоритов и их обломков привело к таянию большого объема льдов, захороненных под поверхностью, и вызвало мгновенные наводнения, следы которых и наблюдаются сегодня. Авторы указывают на существование 25 огромных кратеров, порожденных падением небесных тел. Их диаметры — от 600 км и более, а у некоторых — до 4 тыс. км. Все они возникли не ранее 3.8 млрд лет назад (возраст Марса около 4.5 млрд лет).

Как известно, диаметр земного кратера Чиксулуб у берегов п-ова Юкатан всего лишь 170 км, тем не менее его образование вызвало 65 млн лет назад глобальную катастрофу. Согласно подсчетам, столкновение Марса с метеоритом диаметром хотя бы около 100 км привело бы к выделению энергии в  $4 \cdot 10^{26}$  Дж, а это в 100 тыс. раз больше, чем при возникновении кратера Чиксулуб. На Красной планете даже падение наименьшего из подобных объектов привело бы к выбросу из недр огромного количества разогретых пород, достаточного, чтобы покрыть всю ее семиметровым слоем. «Ливень» раскаленных до 1600 К камней должен был за несколько недель поднять температуру поверхности до 800 К; началось бы повсеместное массовое таяние льдов и испарение влаги. Воды, принесенные в теле самого метеорита и возникшие в результате таяния, должны были вызвать «всемирный потоп». Исследователи подсчитали, что в случае падения 100-километрового небесного тела немалая часть подповерхностной области Марса сохранила бы температуру выше точки таяния как минимум в течение

<sup>1</sup> ESO Press Release 03/03, 22 January 2003; Setiawan J. et al. // Astronomy and Astrophysics. 2003. V.398. №2. P.L19 (European research J).



ние одного года, а если бы диаметр тела достигал 250 км — дольше столетия, что же касается вполне возможного астероида диаметром более 250 км, то таяние шло бы на протяжении тысячелетий.

Даже единственный «пришелец» диаметром 250 км способен высвободить влагу, которая покрывала бы весь Марс 50-метровым слоем. Такого потопа достаточно, чтобы объяснить все открытые ныне «каналы», «протоки», «реки» и «озера».

Новая гипотеза вызвала среди специалистов неоднозначную реакцию.

Science. 2002. V.298. №5600. P.1866, 1977 (США).

#### Физика

### Сверхпроводящий MgB<sub>2</sub>-провод получен в Курчатовском институте

Сверхпроводимость в дибориде магния при 39 К обнаружил Ю.Акимитцу<sup>1</sup>. Открытие оказалось «попаданием в десятку» — дибориды других металлов имели более низкие температуры сверхпроводящего перехода или вообще не становились сверхпроводниками. Начались интенсивные исследования нового перспективного материала.

Сотрудники Курчатовского института опробовали новый метод изготовления MgB<sub>2</sub>, развивающий известную технологию «порошок в трубе», но с принципиальным отличием. Дело в том, что диборид магния образуется в твердофазной реакции, и для достижения высокой плотности материала порошок необходимо сильно сжать. С этой целью при изготовлении проводов обычно применяли методы прокатки или волочения, не всегда обеспечивающие нужную плотность сверхпроводника. Российские исследователи создали в образце давление выше 10 кбар, приложив импульсное

<sup>1</sup> См.: Открыта сверхпроводимость в MgB<sub>2</sub> при 39 К // Природа. 2001. №8. С.83—84; Причина аномальной сверхпроводимости MgB<sub>2</sub> // Там же. 2003. №3. С.76—77.

магнитное поле величиной 50 Тл. Очень важно, что при магнитном сжатии (в отличие от механического) внешние силы в радиальном направлении действуют однородно. Электромагнитный метод очень перспективен: он позволяет создавать высокие давления в длинных проводах, а также в проводниках, нагретых до высоких температур.

Образец, полученный в Курчатовском институте, имеет диаметр 2.3 мм, длину 10 см, его плотность весьма велика — 2.45 г/см<sup>3</sup>, а критический ток в поле 5 кЭ при температуре жидкого гелия оказался ~900 А. Магнитные измерения показали, что высокие значения этого параметра сохраняются вплоть до температур 20—25 К.

[http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/3\\_1-2/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/3_1-2/index.htm)

#### Охрана природы

### Снегоходы — бедствие для животных?

Национальная служба парков США организовала исследования с целью выяснить, как воздействуют снегоходы на природную среду, и установила, что и млекопитающие, и птицы стараются покинуть местность, где распространен этот вид транспорта.

Сотрудники Университета штата Монтана во главе с экологом С.Крилом (S.Creel) измеряли в помете оленей и волков содержание глюкокортикоидов — гормонов, которые вырабатываются надпочечниками и секреция которых усиливается под влиянием неблагоприятных условий. У оленей, населяющих национальный парк «Йеллоустон» (на стыке штатов Вайоминг, Айдахо и Монтана), содержание этих гормонов заметно возрастает в сезон массового появления снегоходов и падает при его окончании. В национальном парке «Вояджерс» (штат Миннесота), где снегоход особенно популярен, глюкокортикоиды в организме волков содержатся в большем количестве, чем у их собратьев на территории сравнительно близкого островного на-

ционального парка «Айл-Ройал», где пользование любым моторным транспортом запрещено. Но стоило на два года сократить число снегоходов на 37%, как содержание глюкокортикоидов у волков снизилось на такой же процент.

Если уровень глюкокортикоидов у позвоночных хронически возрастает, это отрицательно влияет на их иммунную систему и может привести к другим неблагоприятным последствиям. Хотя падения численности животного мира в изучаемых национальных парках США пока не наблюдается, принять серьезные предохранительные меры парковой администрации следует уже сейчас.

Science. 2002. V.296. №5574. P.1784; Conservation Biology. June. 2002 (США).

#### Морская геология. Техника

### Сверхдлинные колонки осадков Охотского моря

Большая часть колонок морских и океанических осадков, поднимаемых в рейсах российских судов, как правило, по длине не превышает 5—6 м. Применяемые за рубежом конструкции поршневых трубок позволяют на тонких мягких илах добиться длины керна 20—28 м. Созданная во Франции система «Калипсо», которой оснащено судно французского Полярного института «Marion Dufresne», представляет собой сверхдлинную поршневую трубку традиционного внешнего диаметра 127 мм; вес грузов в головной части достигает 10 т, спуско-подъемные операции осуществляются через П-раму грузоподъемностью 30 т, а толстый кевларовый трос, с которым соединена трубка, выдерживает натяжение до 60 т. Такая конструкция дает возможность систематически получать колонки донных осадков длиной 50—60 м (пока рекорд равен 64 м).

Пробоотборник системы «Калипсо» эффективно используется и в ходе осуществления международного проекта IMAGES (International Marine Geo Science), ос-

нованного в 1995 г. и нацеленного на изучение с высоким разрешением морской палеоклиматологии. Основная идея состоит в исследовании зон высоких и ультравысоких скоростей седиментации, приуроченных к подводным частям континентальных окраин. Особый интерес представляют подводные конусы выноса и фиорды, в которых скорость седиментации и, следовательно, временные разрешения в колонках керна максимальны. Современные технологии бесконтактного непрерывного изучения физических свойств (магнитной восприимчивости, плотности, скорости звука, цветовой отражательной способности в широком диапазоне и т.д.) и, возможно, химического состава (с помощью рентгенофлуоресцентного сканера) вместе с высокочастотной (3.5 кГц) сейсмоакустикой и послойным литологическим описанием дают основу для создания высокоразрешающей литостратиграфической модели каждой колонки. Сочетание геохронометрических (в основном радиоуглеродных) данных, тефрохронологических (если встречены вулканические пеплы), изотопно-кислородных, био-, хемо- и магнитостратиграфических методов позволяет создать возрастную модель колонки. Распределение по колонке различных палеоклиматических и палеоокеанологических индикаторов (например, палеотемператур поверхностных, промежуточных и придонных вод, их солености, продуктивности, атмосферной и морской циркуляции и т.п.) позволяет воспроизвести историю климата и связанных с ним палеоокеанологических изменений с точностью в сотни лет, а иногда и более подробно. Вполне очевидно, что такого рода построения существенно дополняют палеоклиматические данные, полученные на континентах.

В рамках проекта IMAGES есть несколько рабочих групп, которые исследуют либо палеоклиматы крупных регионов, либо отдельные проблемы и процессы. Так, рабочая группа WEPAMA (West Pacific

Margins) занимается изучением палеоклиматов окраинных и внутренних морей западной части Тихого океана — от Кораллового на юге до Берингова на севере. По этой программе уже сделано несколько рейсов. В июне 2001 г. удалось часть рейса провести в Охотском море, где в пределах зоны международных вод были получены три сверхдлинные колонки: 46.23 м (в точке с координатами 53°57.00'с.ш., 149°57.46'в.д.; глубина океана 822 м), 46.55 м (51°49.48'с.ш., 149°14.03'в.д.; глубина 1008 м) и 53.88 м (53°11.77'с.ш., 149°34.80'в.д.; глубина 1123 м). В рейсе принимали участие специалисты Германии, КНР, России, США, Тайваня, Франции, Японии и других стран. Россию представляли автор этого сообщения (ГЕОХИ РАН) и С.А.Горбаренко (Тихоокеанский океанологический институт ДВНЦ РАН).

Выяснено, что в этих колонках переслоены диатомовые илы, накопившиеся в межледниковья, алевроитовые и песчаные глины, формировавшиеся в течение гляциалов, и вулканические пеплы базальтового и риолит-дацитового составов. В колонках рассеян крупнообломочный ледового разноса. По предварительным данным, наиболее древние отложения имеют возраст около 1.3 млн лет. Основные задачи дальнейшего изучения состава керна, которое проводится в лабораториях Германии, Тайваня и России, сводятся к реконструкции терригенного, кремнистого, карбонатного осадконакопления, динамики ледовой седиментации, островодужного вулканизма, истории промежуточных вод Охотского моря и соотношения его палеопродуктивности с флюктуациями глобального соленостного конвейера на севере Тихого океана, эволюции климатической системы Охотского моря как промежуточного звена между климатом Восточной Азии и северо-запада Тихого океана.

© М.А.Левитан,  
доктор геолого-  
минералогических наук  
Москва

## Океанология

### Судьба арктических льдов

Роль плавучих льдов Северного Ледовитого океана в отражающей способности (альбедо) этого огромного региона, в температурных показателях, циркуляции вод, в химическом составе морской среды и ее биологических характеристиках трудно переоценить. Значительная часть льдов летом не тает, так как при их средней мощности от 3 до 4 м тепловой поток из поверхностного слоя воды недостаточен, а при существующей стратификации подстилающей его слой имеет слишком низкую температуру. Однако глобальное потепление сказывается и на этой акватории. Меняется температура поверхности океана, мощность ледникового покрова уменьшается и возникает угроза самому существованию оледенения.

Американский океанолог Комисо (Comiso), используя спутниковые данные, полученные в микроволновом диапазоне частот в 1978—2000 гг., построил карту современного расположения и мощности плавучих льдов Северного Ледовитого океана. Она показывает, что площадь, покрытая многолетним слоем льда, сокращалась в среднем на 9% за каждое десятилетие.

Если этот процесс сохранится в таком масштабе, к концу XXI в. постоянный ледовый покров океана исчезнет, что может серьезно отразиться на климатической системе Арктики, а тем самым — и всей планеты в целом.

Geophysical Research Letters. 2002. V.29. P.611, 623 (США).

## Геофизика

### Почему «поют» пески пустынь?

Первое упоминание о «поющих песках» содержится в китайской рукописи VIII в., позднее их описывали многие поколения путешественников и ученых, включая Марко Поло и Чарльза

Дарвина. Люди, слышавшие «песни дюн», рассказывают о низком, продолжительном и гармоничном звуке, по силе напоминающем гул двухмоторного самолета. Отмечалось, что подобные звуки порождают неожиданные осыпи со склонов холмов. Было выявлено, что холмы сформированы песчаными зернами одинакового размера. Однако физика этого странного и неожиданно возникающего акустического явления, хотя и стала в начале XX в. предметом жарких дискуссий, долго оставалась нераскрытой.

Исследователям Лаборатории статистической физики Педагогического института в Париже удалось записать акустические параметры «песни дюн»; экспедиции проводились в пустынной части Марокко. В итоге С.Дуади (S.Douady) и его коллеги разработали новую теорию, которая подтверждена многократными лабораторными экспериментами. Основным выводом таков: акустический эффект не связан ни с ветром, ни с явлением резонанса, возникающего в песчаном холме; причина заключается в распространении звуковой волны через песчаный слой, пришедший в движение при осыпании.

В пустынях мира сейчас насчитывают 31 «точку», где можно услышать «поющие пески». Это явление давно известно в Долине смерти, находящейся в пустыне Мохаве (Калифорния, США). Звук вызывается только такой осыпью, которая смещает не менее чем 10-сантиметровый слой песка, приводя в синхронное движение хотя бы 500 зерен. Частота звука 100 Гц, а его уровень — 100 дБ.

Science et Vie. 2002. №1022. P.37 (Франция).

## Геофизика

### Вулканы, связанные между собой

Ученые нередко отмечали, что поведение вулканов, входящих в одну и ту же, даже довольно разрозненную, группу, каким-то образом координировано.

В Японии, которая на недостаток вулканов пожаловаться не может, пробурили глубокие скважины по всей юго-восточной части о.Хонсю и затем опустили в них измерители напряжения в земной коре. Один из приборов был задействован в 1981 г. на о.Идзу-Осима, и не даром: этот клочок суши — северная оконечность цепочки о-вов Идзуситито явно вулканического происхождения. Два года спустя в 170 км к югу от исследовательской скважины начал извергаться вулкан Мияке.

Собранная информация показала, что деформация земной коры во время извержения Мияке изменялась в различных временных масштабах. В течение двух лет перед извержением сжатие коры шло медленно и в одном и том же темпе. Но всего за двое суток до извержения процесс внезапно и резко оборвался. Изменилась и степень подверженности земной поверхности суточным лунным и солнечным приливам: сперва она быстро возрастала, но с началом вулканической активности столь же резко замедлилась.

Частота, с которой повторялся процесс сжатия коры, каждый раз продолжавшийся один-два часа, подскочила с одного раза в один—два года до трех—четырех в месяц. Так происходило в течение шести месяцев до извержения, но полностью прекратилось перед самим событием. Следовательно, процессы на дремлющем вулкане Идзу и расположенном в 70 км проснувшимся Мияке каким-то образом связаны. Авторы предполагают, что в 40—50 км под поверхностью находится канал, который соединяет резервуары магмы, питающие оба вулкана.

Японские ученые, выполнявшие сейсмическое зондирование на севере о.Хонсю, где существует аналогичная цепочка вулканов, обнаружили глубокий магматический канал. Если это явление типично, то перепады давления могут передаваться от одного вулкана к другому за какие-нибудь несколько суток, и специалисты способны в ряде случаев предсказать близящееся извержение. Глубинные связи меж-

ду огнедышащими горами в состоянии также объяснить способность некоторых парных вулканов активизироваться один за другим.

Science. 2002. V.296. №5575. P.1962 (США).

## Вулканология

### Вулкан Паго пробудился

На севере о.Новая Британия (территория Папуа—Новой Гвинеи) находится вулкан Паго. Он весьма молод (~3300 лет) и представляет собой конус высотой 742 м над ур.м., расположенный внутри более древней кальдеры. За последние 5.5 тыс. лет здесь пять раз происходили извержения, сопровождаемые мощными взрывами. В XX в. таких событий было три — в 1911, 1920 и 1933 гг.; с тех пор вулкан считался спящим: активность ограничивалась слабыми фумарольными (газопаровыми) выделениями из некоторых расщелин.

Однако 3 августа 2002 г. пилот пролетавшего самолета заметил на высоте 9 км быстро поднимающуюся колонну пепла (с искусственных спутников Земли обнаружить ее было невозможно из-за облачной погоды). Через двое суток экипаж другого самолета увидел на высоте 1.2 км еще одно скопление пепла (18×37 км<sup>2</sup>) — стало очевидным, что началось извержение. По данным Рабаульской вулканологической обсерватории, это облако поднялось 6 августа 2002 г. на высоту более 10 км над вершиной горы и продвинулось на 110 км к северо-западу; спутниковые наблюдения подтвердили этот факт. Извержение усиливалось, сопровождаясь умеренными подземными толчками. Толщина слоя пепла в поселках, отстоящих от вулкана на 6—8 км, достигла 3 мм. Аэропорт Кимбе в 48 км от горы пришлось закрыть. Местные власти эвакуировали жителей окрестных деревень с общим населением до 8 тыс. человек. Жертв не было.

Облетов гору, сотрудники обсерватории убедились в отсутствии спускающихся по склонам лавовых потоков. Излившаяся лава образовала над активными расще-



линами новые конусы, наибольший из которых достиг 60-метровой высоты.

За развитием событий, помимо специалистов Рабаульской обсерватории, следят ученые из Дарвинского центра наблюдения за вулканическим пеплом (Австралия).

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2002. V.27. №7. P.5 (США).

**Организация науки.  
Комплексные исследования**

**Новое глобальное начинание**

В 2003 г. широко развертываются работы в рамках нового международного научного проекта SOLAS (Surface Ocean — Lower Atmosphere Study — Изучение поверхности океана и нижней атмосферы). Это многодисциплинарная глобальная программа, цель которой — определение количественных параметров ключевых биохимических и физических взаимодействий между водной и воздушной оболочками Земли, познание того, как эта двойная система влияет на климат (и зависит от климата) в ходе изменений природной среды.

Развитие подобных исследований возможно лишь в тесном сотрудничестве представителей дисциплин, связанных с изучением Мирового океана и земной атмосферы: физиков-океанологов, химиков атмосферы, метеорологов, климатологов, биогеохимиков моря, интересы которых охватывают весь комплекс проблем, от микроскопического масштаба до планетарного. Именно к этому и стремится программа SOLAS.

В числе спонсоров проекта — такие известные организации, как Научный комитет океанологических исследований (SCOR), Международная геосферно-биосферная программа (IGBP), Всемирная программа исследования климата (WCRP), Комиссия по химии атмосферы (CACGP). В SOLAS участвуют Россия, Австралия, Бразилия, Канада, Китай, Франция, Германия, Италия, Индия, Япония, Новая Зеландия, Нидерланды, Норвегия,

Испания, Швеция, Великобритания, США и ряд других стран. Возглавляет новый проект британский ученый П.Лисс (P.Liss). Международный штаб SOLAS расположен в Норидже, при Университете Восточной Англии (его адрес в Интернете: [www.solas-int.org](http://www.solas-int.org)).

SOLAS.2002. P.1 (Великобритания).

**Метеорология**

**Песчаная буря в Австралии**

Редкое по своему масштабу атмосферное явление случилось 23 октября 2002 г. в Австралии: миллионы тонн желто-красной пыли затмили небо над восточной частью страны. Почти непроницаемая пелена вытянулась более чем на 1.5 тыс. км; ее ширина местами достигала 400 км, а верхний край, судя по спутниковым наблюдениям, располагался на высоте около 2.5 км. Подобное событие отмечалось здесь 30 лет назад.

Ветер, в порывах превышавший 80 км/ч, разносил пылевые частицы, которые покрыли улицы городов и поверхность Тасманова моря; отдельные скопления пыли достигли горных ледников в Новой Зеландии. Метеорологи Сиднея определили, что в 1 м<sup>3</sup> воздуха содержалось около 150 мкг пылевых частиц. В их состав входили кварц, гидрослюда, кальцит и другие минералы; в среднем частицы имели размер около 50 мкм.

Жертвами пылевых бурь в свое время оказывались города Мельбурн (1983), Брисбен (1987), но ни одна из них по интенсивности не может сравниться с этой.

Климатологи связывают песчаную бурю с явлением Эль-Ниньо — Южная осцилляция, когда экватория центральной части Тихого океана и воздушное пространство над ней катастрофически теплеют. На этот раз в Австралии погибла немалая часть урожая и выпасов; во многих местностях обнаженная почва подверглась сильной ветровой эрозии.

Судя по палеоклиматологическим и геологическим данным, континент на протяжении последних

20 тыс. лет становится все более засушливым. Аналогичные пылевые бури в Восточной Австралии случались и 18 тыс. лет назад — в пору максимального оледенения Земли. AusGEONews. 2002. №68. P.8 (Австралия).

**Палеонтология**

**Самые древние приматы**

Самые древние известные науке приматы появились на Земле примерно 55 млн лет назад. Однако какие животные им предшествовали, было неизвестно, так как до наших дней от скелетов, принадлежавших палеоценовым приматам, дошло лишь несколько разрозненных окаменелых костей и зубов. Но вот недавно Дж.И.Блох и Д.М.Бойер (J.I.Bloch, D.M.Boyer; Университет штата Мичиган в Анн-Арборе) подробно описали шесть превосходно сохранившихся ископаемых скелетов, представляющих четыре из 13 известных семейств из подотряда плезиадапиформ — наиболее архаичных приматов, живших примерно 56 млн лет назад. Это карполест Симпсона (*Carpolestes simpsoni*), не известные ранее виды игнация (*Ignaciuss*) и плезиадапа Кука (*Plesiadapis cookei*), а также не получивший пока названия род и вид одного из микромомийдов (*Micromomyidae*). Уникальные находки были извлечены из нескольких блоков известняка, добытых в бассейне р.Кларк-Форк (штат Вайоминг).

Карполест был древолазом. Это существо массой около 100 г могло взбираться по вертикальному стволу и цепляться за тонкие ветки как передними, так и задними конечностями. На хватательную способность указывает противостояние больших пальцев ног всем остальным. Морфология коленных суставов свидетельствует об их высокой подвижности и о неумении животного передвигаться прыжками.

Игнаций одинаково хорошо чувствовал себя как на ветвях деревьев, так и на земле. Это 400-граммовое животное прыгало, отталкиваясь задними конечностями. Судя по строению зубов, питалось оно

насекомыми и лесными плодами, а также могло пить древесный сок.

Самый крупный из этих приматов — плезиадапис Кука (масса тела до 4 кг). Он жил только на деревьях и особой подвижностью не отличался — об этом говорят пропорции его конечностей.

Самый же маленький среди палеонтологических «новобранцев» — это 20-граммовый микромиид. До сих пор ученым попадались лишь разрозненные остатки его костей, челюстей и зубов. На основе строения малого коренного зуба уже было известно, что он питался лесными плодами и насекомыми. Теперь к этому можно добавить, что животное вело исключительно древесный образ жизни, повисая на ветвях вниз головой.

Таким образом, изучение вайоминских находок дало много новых сведений о древнейших приматах.

Science. 2002. V.295. №5555. P.613 (США).

## Палеонтология

### Ископаемый джехолорнис

В начале мелового периода, 125–120 млн лет назад, на территории северо-восточных провинций Китая были распространены растения и животные, на сегодняшний взгляд очень странные. Здесь встречались пернатые динозавры, млекопитающие с лапами пресмыкающихся, а растения, хоть и были цветковыми, но слишком примитивными. Очень богат был и мир птиц, о чем свидетельствуют десятки костных остатков тех, кто еще только «учился» летать. А недавно здесь найдено ископаемое существо размером с индюка, получившее название джехолорнис (*Jeholornis*). Китайские ученые из Института палеонтологии позвоночных и палеоантропологии Академии наук КНР в Пекине, исследовав хорошо сохранившийся скелет, утверждают, что он принадлежит одной из самых примитивных птиц, когда-либо живших на Земле.

Особенно примечателен хвост. Обычно у древних птиц он до-

вольно короткий, причем несколько позвонков на конце срастаются воедино, как в пигостиле у современных птиц. У джехолорниса хвост достигает 42 см в длину и состоит из 22 отдельных позвонков. Но ведь это как раз характерно для многих динозавров! Кроме джехолорниса такой хвост был у самого известного представителя протоптиц — археоптерикса (*Archaeopteryx*), жившего в юрский период (отпечатки его скелета нашли в 1859 г. в Германии), а также у рахонависа (*Rahonavis*), встречавшегося на территории нынешнего Мадагаскара в конце мелового периода.

Л.Кианпи (L.Chiarre; Музей естественной истории округа Лос-Анджелес, штат Калифорния), ознакомившись с находкой джехолорниса, отметил, что характер хвостовой части скелета решительно подтверждает родство птиц с динозаврами, особенно с группой дромеозавров — ископаемых ящеров, отличавшихся способностью очень быстро бегать. Хвост у джехолорниса был «устаревшей конструкции», а вот плечевой пояс — вполне развитым, способным поднять животное в воздух. Это подтверждает гипотезу, согласно которой у древнейших птиц передние конечности, превращаясь в крылья, начали развиваться раньше, а хвост уже позже стал постепенно модернизироваться, приспособившись к полету. Когда с помощью компьютера проанализировали 201 признак джехолорниса, выяснили его близкое родство с рахонависом и археоптериксом, подтвердив тем самым его птичью принадлежность.

Джехолорнис принес еще одно открытие. В его грудной полости сохранились отпечатки более 50 растительных семян размером с арбузные. До сих пор у птиц меловой эпохи ничего подобного не находили. Ранние птицы, чьи остатки обнаруживали в Испании, питались мелкими ракообразными, а жившие в Северной Америке — рыбой. Т.Хольц (T.Heltz; Университет штата Мэриленд в Колледж-Парке) видит в этом доказательство трофического разнооб-

разия, присущего птицам уже в начале мелового периода.

Nature. 2002. V.418. №6896. P.405 (Великобритания).

## Археология

### Древнее захоронение всадников и лошадей

На территории Франции, в 300 м от крепостных валов Гондоль — одного из четырех огромных фортификационных сооружений в Пюиде-Дом — вскрыто уникальное захоронение: во рву на метровой глубине лежали 8 всадников и 8 верховых лошадей. При осмотре скелетов, помещенных в два ряда, на боках, создается впечатление, что люди держат друг друга за плечи. Отсутствуют конская сбруя, оружие, какие-либо украшения.

Ж.-П.Демуть (J.-P.Demoule), президент Национального института превентивных археологических исследований, считает, что до получения результатов радиоуглеродного анализа останков можно полагать: захоронение относится к концу галльского периода, т.е. к I в. до н.э. Такую датировку позволяет сделать близкое расположение погребения к древним поселениям галлов и малый рост лошадей (в холке всего 1,2 м, что характерно именно для конницы галлов). Наиболее поразительно, что скелеты лошадей сохранились полностью: в захоронениях кельтской элиты обнаруживают катафалки с украшениями, различные предметы, но никогда — останки лошадей.

В ту эпоху умерших наиболее часто кремировали. Кельты совершали над ними особый обряд, о чем свидетельствуют погребальные сцены в святилищах Рибмонсюр-Анкр и Гурнэ-сюр-Аронд. Вместе с тем осмотр этого уникального захоронения наталкивает на некоторые довольно смелые сопоставления, в частности со смешанными захоронениями у некоторых народов Центральной Азии<sup>1</sup>.

Sciences et Avenir. 2002. №665. P.22 (Франция).

<sup>1</sup> См. также: Ранов В.А. Глиняное войско, ставшее «находкой века» // Природа. 1999. №4. С.53–55.

# Судьба исследователя

В.С.Корякин,  
доктор географических наук  
Москва

Название новой книги, написанной известным первопроходцем севера Коми доктором геолого-минералогических наук Георгием Александровичем Черновым, говорит само за себя. Однако по сути она посвящена целому клану Черновых — шести поколениям геологов. Достижения первых двух поколений во многом определили развитие края. Судьба открытых ими месторождений полезных ископаемых показана в переплетении исторических событий, в столкновении мнений и суждений представителей различных научных школ и ведомств. Этот успех определялся не пресловутой семейственностью (что грех таить, это не редкость в научной и иной общественной среде), а преемственностью поколений геологов в их служении самому главному. Именно так сформулировал свою жизненную позицию отец автора профессор Александр Александрович Чернов: «Двум богам молиться нельзя. Я молюсь одному богу — науке». Продолжая эту мысль, он пишет: «По натуре своей я первооткрыватель, мною владеют идеи поисков полезных ископаемых там, где их еще не удалось найти, где есть известные основания искать». Чернов-младший

продолжил дело отца, что и определило его жизненный и профессиональный успех.

Следует отметить, что преемственность дореволюционных исследований, связанная с именами Ф.Н.Чернышева, В.А.Русанова, Н.Кулика и др., получила свое дальнейшее развитие в совершенно иных экономических и политических условиях. Геологи советского периода (на фоне памятного ГУЛАГа), помимо Черновых, представлены В.А.Варсонофьевой, Д.М.Раузер-Черноусовой, А.Я.Кремсом и многими другими. Автор был не только свидетелем событий первоначального освоения богатейшего края, но и одним из самых активных участников этого процесса — достаточно сказать о его роли в открытии Воркутинского угля, и не только. В современном освоении новых месторождений углеводородного сырья на севере Коми есть и его неоспоримый вклад.

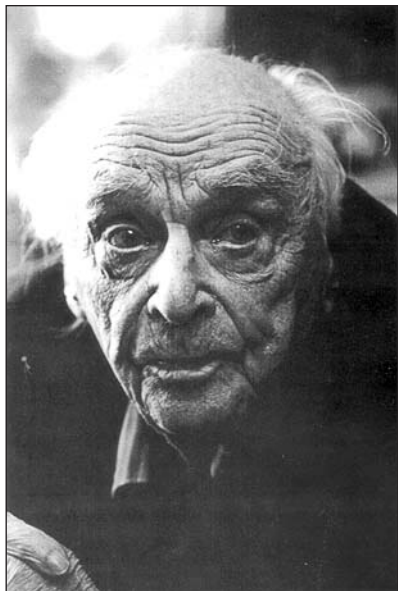
Историку науки рецензируемая книга представляется неисчерпаемым источником самой разнообразной информации для понимания прошлого и будущего экономики Севера. Несомненным достоинством ее является не только сам материал, но и авторское отношение к описанным событиям, в том числе и к столкновению научных идей и подходов в освое-



**Г.А.Чернов. ПЕЧОРСКИЙ КРАЙ — СУДЬБА МОЯ** (По запискам геолога).

М.: Научный мир, 2002. 388 с.





Наш современник Г.А.Чернов.  
Фото из московской газеты  
«Время» (2001 г., март).

нии новых территорий. Описываемые события охватывают более чем полувековой отрезок времени, поскольку первая экспедиция Чернова на Усу, Адзью и Инту (реки в то время играли важнейшую роль в выборе исследовательских маршрутов) состоялась в 1924 г., а последняя — в 1984-м. Это время было использовано не только для полевых наблюдений, но и для важнейших теоретических разработок, порой, как выражаются геологи, «в крест простиранья» выводов и суждений сильных мира сего... Возможно, иной специалист не во всем согласится с авторской точкой зрения. Однако право на свою научную или общественную позицию, нашедшее отражение на страницах книги, уже только в силу изложенного неоспоримо.

Несколько слов о построении книги, которое выглядит в высшей степени логичным. Небольшое историческое введение, рассказывающее о работах геологов на севере Коми, лучше позволяет понять роль и вклад Г.А.Чернова в изучение геологии края. Автор не скрывает многих

просчетов и ошибок, совершенных им на первых этапах своей деятельности. С этой точки зрения раздел «Университетские годы» характеризует не столько его учебу на геолого-географическом отделении физмата МГУ, сколько тяжелейшие и плодотворнейшие «экспедиционные университеты» в сложных полевых условиях — пешие или лодочные маршруты. Именно тогда он определился как перспективный геолог. «То ли романтические условия полевой жизни сделали мое первое путешествие привлекательным, то ли геологические задатки моих предков заиграли в крови, но как бы то ни было, я почувствовал себя как рыба в воде» (с.48), — под этими словами может подписаться каждый опытный полевой исследователь. Не всем дано обнаружить вовремя собственные профессиональные качества, и чем раньше это происходит, тем лучше, особенно в молодости.

Сам начинающий геолог, только что убедившийся в правильности выбора, отнюдь не переоценивал своих достижений: «Тогда я был далек от всех научных свершений по поводу угольных прогнозов Печорского края. Я только мечтал о путешествиях по этому глухому краю, а отец ясно представлял его будущее», — разница в уровне суждений двух поколений геологов очевидна и не нуждается в комментариях. Для большинства старых исследователей она понятна, поскольку они сами когда-то пережили нечто подобное. В любом случае становление специалиста в полевых условиях вещь непростая, и на страницах книги она описана достоверно и без прикрас.

Раздел «Годы самостоятельной работы»: становление Чернова-ученого, когда его теоретические университетские познания подкрепляются необходимым материалом, а главное — результатами и выводами, полученными «в поле». Более того, для многих специалистов имен-

но полевые наблюдения не имеют альтернативы — особенно у геологов, когда порой единичный образец становится причиной для пересмотра, казалось бы, устоявшихся взглядов и концепций. Без «поля» невозможно формирование самостоятельного исследователя, и не только в геологии.

Годы самостоятельной работы Чернова начались с открытия угольных месторождений Воркуты. Далеко не всем суждено было дожить до претворения результатов своих трудов в жизнь. Если же учесть, что разработка печорских углей началась уже в 1934 г., то несомненно, что успеху Георгия Александровича могут позавидовать многие коллеги. И разумеется, такое развитие событий благоприятствовало его становлению в качестве авторитетного специалиста. Все дальнейшее развитие края с учетом найденных месторождений также происходило на глазах молодого геолога, включая возникновение самого города Воркуты, сооружение магистралей и т.д. Следует отметить, что раздел снабжен множеством фотодокументов и карт, представляющих самостоятельную ценность. В заключении описан сугубо ведомственный спор о приоритете в открытии Воркутинского угля, который, по мнению органов НКВД (игравших в освоении Воркуты особую роль), принадлежал местному охотнику В.Я.Попову.

Два раздела книги посвящены решению крупных научно-производственных задач. Автор детально описывает обстоятельства открытия рудных месторождений железа и марганца в 1935–1943 гг., а также пьезокварца в 1945-м (в те годы он имел важнейшее значение для развития радиопромышленности).

Гораздо больше внимания (с учетом перспектив на будущее) Георгий Александрович уделяет открытию Тимано-Печорской нефтегазоносной про-

винции начиная с 1939 г. По его мнению, «именно этот год в связи с перспективами нефтегазозности определил начало моего собственного пути в деле геологического изучения Печорского края» (с.231). Видимо, не случайно эта проблема занимает почти половину от общего объема (ни много ни мало более 24 печатных листов) книги.

Еще одна тема ощутимо присутствует на страницах этой замечательной книги. Каким должно быть в идеале (а это прежде всего зависит от финансовых затрат) соотношение полевых работ и кабинетных теоретических изысков? Как они связаны между собой? Думается, читатель найдет здесь немало поучительных примеров.

Глава «Новый виток противостояния» имеет, казалось бы, сугубо личный характер, но на деле отражает еще одну важнейшую проблему. Как наше общество воспринимает вклад в науку разведчиков-поисковиков

(а настоящий ученый несомненно обречен на эту роль)? Воздается ли им по заслугам? В этом смысле книга Чернова оставляет вопрос открытым, да и едва ли сам автор, несмотря на весь свой богатейший жизненный и профессиональный опыт, мог дать исчерпывающий ответ. Увы, риск (в данном случае речь идет не только о полевых работах) — неотъемлемая часть судьбы первопроходца. Книга лишь подтверждает этот вывод. Одно можно утверждать уверенно: весь жизненный настрой автора, семейные традиции (а не пресловутая семейственность!), профессиональная подготовка и интерес к делу свели его собственный жизненный риск до минимума. Читателю лишь остается порадоваться за профессиональную и личную удачу автора, судьба которого — пример для молодежи в наше нелегкое время. Держайте!

В заключение хочется отметить заслуги первопроходца: от-

крытие Воркутинского угля, Усинской и Харьягинской нефти, где затем возникли Воркута, Усинск и Инта. Однако главным его достижением стало открытие Тимано-Пайхойской нефтегазозной провинции, которой еще только предстоит сыграть свою роль в будущей экономике России. И сверх того — 300 (!) археологических памятников. Поистине, круг интересов первопроходца не ограничивался профессией, вырываясь временами далеко за ее пределы, вовлекая в активную деятельность представителей совсем иных научных направлений, например гуманитариев, интересы которых, казалось бы, далеки от поиска полезных ископаемых. И тем не менее контакт представителей разных наук для современного региона Коми в итоге оказался на редкость успешным и плодотворным, в чем заключается лишь одна из многочисленных заслуг автора рецензируемой книги. ■

### Физика

**В.Н.Архипов.** МЕХАНИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА. М.: Физматлит, 2002. 384 с.

В книге дается системное описание процессов развития ядерного взрыва, его механического действия в воздухе и грунте на примере физических и математических моделей. Автор рассматривает процессы передачи энергии внешней среде, испарение и плавление грунта, формирование и рас-

пространение тепловой и ударной волн (сейсмозврывной волны в грунтовой массе), а также образование воронки и сопутствующие явления.

Показано, как влияют на перечисленные процессы границы раздела сред и различные неоднородности грунтовой массы: слоистый осадочный грунт, трещины, разломы скальных пород и т.п.

Книга будет интересна специалистам, работающим в области механики сплошной среды, физики высоких плотностей

энергии и математического моделирования действия взрывных и импульсных нагрузок.

### Информатика

**В.М.Вишневский.** ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ. М.: РИЦ «Техносфера», 2003. 512 с.

Происходящее в мире развитие инфокоммуникаций стало объективным фактором движения мирового сообщества к созданию глобального ин-

формационного поля. Фактически речь идет о разворачивании очередной промышленной революции, получившей название информационной.

В книге сжато, но в доступной форме, излагаются основные математические методы теории массового обслуживания, включая новейшие результаты в этой области. Описываются стохастические модели протоколов компьютерных сетей и их исследования с использованием теории сетей очередей. Рассматриваются алгоритмы выбора оптимальных маршрутов и пропускной способности в сетях пакетной коммутации, а также комбинаторный алгоритм синтеза топологии, основанный на современных результатах теории экстремальных графов. Оценивается производительность беспроводных сетей.

Автор книги — известный специалист в области компьютерных сетей и информационных систем на транспорте. Под его руководством и при непосредственном участии реализован целый ряд крупномасштабных проектов: сеть Министерства транспорта РФ и Президиума РАН, «Radionet» для беспроводного подключения в Интернет организаций науки и образования Москвы, Единая система бронирования и продажи билетов на транспорте, сеть наукограда Обнинска.

### Экология

**Л.Г.Бязров.** ЛИШАЙНИКИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ.

Отв. ред. Д.А.Кривошук. М.: Научный мир, 2002. 336 с.

Понятно, что на развитие животных, грибов, бактерий, а также симбиотических ассоциаций, в которые, в частности, входят лишайники, сказывается состояние среды их обитания. Еще в середине XIX в. была установлена обратная зависимость

распространения лишайников от загрязнения атмосферы.

Книга обобщает результаты исследований автора и уже опубликованные материалы, посвященные зонированию территорий по степени загрязнения воздуха и выявлению причин некоторых заболеваний, например рака легких. И в данном случае лишайники могут служить индикаторами качества среды.

Отдельный раздел посвящен результатам изучения экологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС и испытательных взрывов термоядерного оружия на полигоне в Семипалатинске. На примере распространения и развития лишайников получены результаты зонирования воздушного бассейна Москвы. Исследования ведутся на базе Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН.

### История науки

АКАДЕМИК АЛЕКСАНДР ДАНИЛОВИЧ АЛЕКСАНДРОВ. Воспоминания. Публикации. Материалы. Отв. ред. Г.М.Идлис и О.А.Ладыженская. М.: Наука, 2002. 399 с. (Из сер. «Ученые России. Очерки. Воспоминания. Материалы».)

Александр Данилович Александров (1912—1999) — выдающийся математик, ученый и общественный деятель XX столетия. Он создал мощную математическую школу, получившую всеобщее признание, внес большой вклад в анализ основ теории относительности. Им написано немало учебников по геометрии для средних школ и вузов. С 1952 по 1964 г. Александр Данилович возглавлял Ленинградский государственный университет.

Сборник включает «Беседы по истории науки» А.Д.Александрова, его предисловие к воспоминаниям репрессированного за правозащитную дея-

тельность Вадима Делоне («Портреты в колючей раме»), интервью для журнала «Санкт-Петербургский университет», записи устных выступлений и комментарии к ним дочери Александрова Д.А.Медведевой, а также библиографический указатель научных трудов, учебников и публицистических статей.

Издание подготовлено Институтом истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова и Санкт-Петербургским отделением Математического института им.В.А.Стеклова РАН.

### История науки

**К.Г.Михайлов.** КРАТКИЙ ОЧЕРК ИСТОРИИ ЗООЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ МГУ. М.: Т-во научных изданий КМК, 2002. 59 с.

В 1791 г. на базе Московского университета был основан Зоологический музей, который до 1917 г. являлся подразделением кафедры зоологии, сравнительной анатомии и физиологии. В 1931 г. он был переведен из системы университета в Наркомпрос, но в 1954-м возвращен обратно.

Главы, посвященные истории музея, охватывают период с 1917 по 1978 г., когда он был закрыт на реконструкцию. Жизнь музея рассмотрена в разных аспектах: экспозиционном, научном и педагогическом. Особое внимание уделено зоологической школе профессора Г.А.Кожевникова, который заведовал музеем до 1930 г. Его ученики образовали целое поколение университетских зоологов. Опубликованы списки сотрудников (с 1932 по 1978 г.) и перечень экспедиций, в которых они принимали активное участие.

В работе над книгой, помимо публикаций, были использованы материалы Архива МГУ и Санкт-Петербургского отделения Архива РАН.



# Жозеф Деникер

Г.И.Любина,

кандидат исторических наук

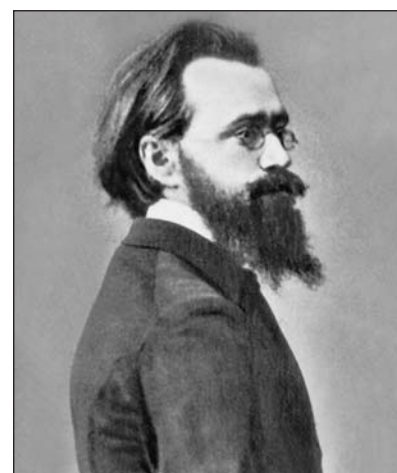
Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН  
Москва

Как и многие люди его поколения, антрополог Осип Егорович Деникер (1852—1918) отдал дань революционным веяниям. Сын астраханского купца французского происхождения косвенным образом оказался замешанным в нечаевском процессе. Этот «тихого нрава» студент Петербургского технологического института был изобличен агентами полиции в том, что под видом картежной игры проводил у себя на квартире студенческие сборища и принадлежал к народническому кружку [1]. В 1874 г. двадцати двух лет от роду он уехал за границу. Самовольный отъезд означал полный разрыв с прошлым, в случае возвращения Деникера ожидала бессрочная ссылка\*.

Своей названной родиной он выбрал Францию. К 34 годам, преодолев все препятствия, он, теперь уже Жозеф Деникер, стал полноправным членом французского общества, получив статус государственного служащего. В середине XIX в. подобный поворот в судьбе русского эмигранта был почти немислим, без особых на то причин россиянин избегал окончательного разрыва с отечеством и крайне

редко отказывался от подданства своей страны. Однако в конце столетия отношение к эмиграции изменилось. Положение дел в России побуждало многих искать воплощения жизненных и творческих планов за границей. Русская эмиграция стала приобретать массовый и необратимый характер. За этот период и первое десятилетие XX в. из России выехало 7 млн человек. Среди них было много студентов и преподавателей университетов [2]. Судьба Деникера — яркий тому пример. Но, меняя гражданство, наш соотечественник сохранил интерес к России, он сделал достоянием мировой науки изыскания по отечественной антропологии и этнографии.

В Париже он наладил связи с русским подпольем. Наиболее авторитетной личностью среди политической эмиграции был идеолог народничества П.Л.Лавров, к которому и обратился новоявленный эмигрант. Сначала отношения между ними не складывались. Было время, когда Лавров избегал посещать дом Деникеров. Но общие эмигрантские дела их постепенно сблизили. Жозеф Деникер участвовал в работе Комитета русских библиотек в Париже, в создании нового социал-революционного фонда для русских политэмигрантов и т.п. Его жена, Любовь Деникер (кузина Н.П.Ткачева), бралась пе-



Жозеф Деникер.

реписывать статьи Лаврова, обратилась к нему за помощью, когда мужа внезапно задержала парижская полиция, уговорила взять на себя «политическую сторону» похорон Ткачева — произнести речь над его могилой. Лавров и Деникер подружались. Их сблизил также общие интересы: любовь к естественным наукам, антропологии и истории первобытного общества. В 1882 г. Деникер хлопотал о возвращении Петра Лавровича в Париж из Лондона, куда по настоянию русской охраны был выслан французскими властями за то, что вместе с Верой Засулич подписал манифест «Народной воли». И все же Деникер не стал

\* В России Деникер известен как французский антрополог. Ему принадлежат труды по сравнительной эмбриологии высших приматов, классификации рас современного человека.

профессиональным, «цеховым», как тогда говорили, революционером. В середине 80-х он занялся научно-литературным трудом. Но для русской полиции навсегда остался подозрительной личностью: его ходатайство о приезде на родину для участия в международном научном конгрессе было отклонено [3].

Интерес к науке возник у Деникера уже в молодые годы. Он не получал материальной помощи из России, а нужно было думать об устройстве жизни, о содержании увеличившейся семьи — в Париже у него родился сын. Чтобы добиться успеха на научном поприще, он должен был соответствовать ряду требований. Первое выполнил, приняв в 1874 г. французское гражданство. Второе условие — получение степени доктора одного из университетов. В конце 70 — начале 80-х Деникер посвятил себя науке: работал в парижских лабораториях у зоологов, химиков, ботаников, геологов, на морской станции в Роскофф (лето 1881 г.). Его наставником в Музее естественной истории был знаменитый химик Э.Фреми, в Сорбонне — зоолог А.Лаказ-Дютье.

В 70–90-е годы Париж превратился в международный центр подготовки молодых антропологов. Здесь успешно работали лаборатория на факультете медицины Практической школы высших знаний (1867) и Школа антропологии на естественном факультете университета (1875). Деникер воспользовался этими возможностями, чтобы получить хорошее образование. Вместе с ним под руководством П.Брока и его учеников, П.Топинара и Л.Мануврие, изучали антропологию студенты и начинающие российские ученые: Д.Н.Анучин, С.Н.Данилло, А.Н.Краснов, Н.А.Облонский, А.П.Покровский. Очевидно, их имел в виду Лавров, сам член Парижского антропологического общества, когда писал Г.А.Лопатину о пяти-шести русских [4]. Западные антропологи и этнографы считали, что громадная Россия, раскинув-

шаяся на двух континентах, должна располагать большими запасами естественнонаучного материала, с большим интересом они следили за работами своих российских коллег. Видимо, глава французских антропологов Брока высоко оценил их, если незадолго до смерти, на 55-м году жизни начал изучать русский язык [5]. Деникер, занимаясь в лаборатории Брока, начал публиковать работы по антропологии. А его докторская диссертация «Анатомические и эмбриологические исследования над антропоморфными обезьянами», защищенная в Сорбонне (1886), прошла по разряду зоологии. В этой работе автор описал зародыши гориллы и гиббона и сравнил их с эмбрионом человека. В 1886 г. Деникер был удостоен премии Брока (золотая медаль и полторы тысячи франков) [6].

С 1888 г. и до конца жизни Деникер занимал престижную должность главного библиотекаря Музея естественной истории, старейшего исследовательского учреждения Франции. Он стал своим человеком в музее и поселился там вместе с семьей. Деникер слыл знатоком западноевропейской и русской научной литературы, к нему обращались представители отечественной диаспоры в Париже и французские исследователи. Занятия библиографией наложили отпечаток на научное творчество Жозефа Деникера. Большинство его работ построено не на личных наблюдениях, а на литературных источниках. Автор использовал комплексные данные сопредельных наук: зоологии и анатомии, антропологии и этнографии, эмбриологии. В 90-е годы появилась серия крупных монографий Деникера. В 1891 г. вышел совместный с Иадом труд в шести томах по антропологии и этнографии Огненной Земли, а в соавторстве с Буларом — исследование по анатомии антропоидов (1895).

Наиболее известна фундаментальная работа Деникера

о расах и народах Земли (1900). В ней излагаются характерные соматический, морфологический и социальный признаки рас, проводится их классификация по антропологическому и этнографическому признакам. Автор задался целью сжато и доходчиво изложить существенные факты антропологии и этнографии, рассказав о их содержании и дав объяснение специальных терминов. Как и все, что вышло из-под пера Жозефа Деникера, книга написана на литературном материале: широко использованы коллекции Музея естественной истории и Школы антропологии. Это сочинение не является простой компиляцией фактов. Автор часто критикует существующие гипотезы и дает собственную интерпретацию. Он высказал свою точку зрения по вопросам антропометрии, а также о последовательности различных ступеней цивилизации. Выступил против бытовавшей среди западноевропейских антропологов весьма популярной теории о центральноазиатском происхождении арийских народов, критиковал попытку Топинара разделить антропологию на специальную (описание отдельных рас) и общую (вопрос их происхождения). В противоположность своим предшественникам И. Жоффруа Сент-Иллеру, А.Катрфажу, Деникер предложил собственную систему классификации человеческих рас, исходя исключительно из физических признаков.

Книга Деникера написана с позиций евроцентризма, автору свойственна идеализация современного ему промышленного общества (как вершины человеческого прогресса) с таким его атрибутом, как личная свобода граждан. По этому признаку китайцы попали в разряд «полуварварских народов», обладающих лишь «зачаточной литературой». Со временем фактические данные и концептуальные положения книги устарели. Но ее ценность состоит в том, что автор обобщил огромный

материал, разбросанный по многим источникам. Он широко использовал труды современных немецких, французских, английских, американских и русских исследователей, классиков естествознания и привел их подробную библиографию, опубликовав ее как самостоятельную работу в журнале «Географические новости» (1892). Для западноевропейских коллег интерес заключался в том, что Деникер дал подробное описание народов, населяющих Россию: кавказцев, жителей русского Севера, Сибири, Средней Азии. При этом он использовал труды современных отечественных географов, лингвистов, антропологов, этнографов, в силу языкового барьера недоступных западному читателю. Он ссылался на работы А.Пыпина, Н.Ю.Зографа, А.П.Богданова, И.Д.Черского, А.С.Уварова, Г.Н.Потанина и многих других русских естествоиспытателей, а также на исторические труды П.С.Палласа и М.А.Кастрена. Деникер познакомил западных коллег с изданиями Русского географического общества и его региональных отделений. В приложении, в статистических таблицах собраны сотни цифр, касающихся антропометрических обмеров; книга снабжена большим числом фотографий. Об интересе специалистов к этому труду свидетельствуют переводы книги на русский и английский языки и ее переиздание в 1926 г.

Деникер выдвинул гипотезу о подразделении жителей Европы на шесть крупных рас. Эту же тему он развил в «Журнале Антропологического института Великобритании» (1904), помес-

тил много заметок по этнографии и антропологии в Энциклопедическом словаре Брокгауза и Ефрона. Опубликовал около 50 обзоров, главным образом работ российских и зарубежных ученых, во французских журналах. М.И.Венюков отмечал, что некоторые народности, населяющие Россию (чукчи, гиляки, калмыки), лучше описаны во французской литературе. Деникер был членом московского Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии и действительно с ним сотрудничал.

Много сил отдавал Жозеф Георгиевич изучению языков. Хорошо зная европейские, он был одним из учредителей Общества для распространения иностранных языков во Франции, преподавал русский и другие славянские языки. В 90-е годы, будучи уже старожилом Парижа, охотно принимал у себя соотечественников-антропологов. Так, Д.Н.Анучин пользовался его гостеприимством. Деникер познакомил его с директором Музея древностей в Сен-Жермене, известным искусствоведом С.Рейнаком [7].

Свою научную карьеру Жозеф Деникер достойно закончил «Библиографией работ научных обществ Франции» (1918). Замысел издания принадлежал маститому естествоиспытателю, члену Института Франции\* А.Мильн-Эдвардсу. В то время уже существовали аналоги подобной библиографии, справочники Лондонского Королевского общества (1867—1894) и французский Указатель публикаций исторических и архео-

\* Объединение пяти академий, в числе которых и Академия наук.

логических обществ под редакцией Р.Ластери и Э.Лефевра-Понтали (1890—1893). Мильн-Эдвардс решил посоветоваться с Деникером по поводу этого проекта. В разработке плана издания участвовал Комитет научных и исторических работ Министерства просвещения Франции. Деникер не без колебаний согласился составлять и редактировать справочник, ему пришлось просмотреть, расписать и проаннотировать сотни изданий французских научных обществ, всех этих многочисленных «анналов», «ежегодников», «мемуаров», «бюллетеней», «записок», «отчетов», «сборников» и других. За модель был принят указатель Ластери, составленный по принципу регионального размещения материала.

Библиография Деникера представляет собой любопытный источник для изучения организации французской науки начала XX в. По ней можно судить как о размещении французских научных обществ, так и о содержании работ их членов. Характерно, что в крупных городах (Бордо, Лилле, Нанте и др.) общества имели выраженную специализацию. В провинции они были более универсальны и часто объединяли и естественные науки, и изящную словесность. Деникер успел издать первый том библиографии в трех тетрадах. Смерть настигла его в разгаре работы над вторым томом, но он успел составить и отредактировать шесть листов рукописи. Его преемник на посту главного библиотекаря Музея естественной истории, Р.Дешарм, в 1922 г. завершил издание. ■

## Литература

1. Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Ф.109 (Секретный архив III-его отделения). Оп.1. Д.692. Л.1.
2. Попов А.В. Документы российской эмиграции в архивах Москвы. М., 1998. С.25.
3. ГАРФ. Ф.1762 (П.Л.Лавров). Оп.4. Д.154. Л.1.
4. Лавров — годы эмиграции: В 2 т. / Под ред. Б.Сапира. Бостон, 1974. Т.1. С.348.
5. Майнов В. [Поль Брока] // Ист. вестн. 1880. Т.3. №9—12. С.331—332.
6. Богданов А.П. Материалы для истории научной и прикладной деятельности в России. Т.3. М., 1891. С.9.
7. Анучин Д.Н. // Рус. антропол. журн. 1923. Т.12. Кн.3—4. С.79—80.